

**VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky**

**Rekonstrukce tvářecího stroje ocelových tlakových láhví**

**Reconstruction of the forming machine for steel  
cylinders**

2013

Zdeněk Janečka

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Zdeněk Janečka**  
Studijní program: N2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika  
Téma: **Rekonstrukce tvářecího stroje ocelových tlakových láhví.  
Reconstruction of the forming machine for steel cylinders.**

Zásady pro vypracování:

Rozbor funkce stávajícího zařízení, teoretická východiska.

Provoz a údržba, rozbor spolehlivosti.

Návrh komplexní rekonstrukce a modernizace.

Vytvoření projektové dokumentace vybraného řešení.

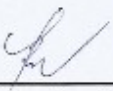
Seznam doporučené odborné literatury:

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Bernat, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013

  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
*vedoucí katedry*



  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
*děkan fakulty*

### Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....

Zdeněk Janečka

## **Abstrakt**

Předmětem diplomové práce je řešení optimalizace provozu tvářecího stroje ocelových tlakových láhví. Na začátku práce jsou shrnuty teoretické informace o činnosti stávajícího zařízení, popsána problematika údržby s nalezením spolehlivostně slabých míst.

V dalších kapitolách je popsáno řešení rekonstrukce s následnou volbou patřičných komponentů.

Při psaní této práce jsem vycházel z osobní zkušenosti za použití interních materiálů. Součástí diplomové práce je rovněž projektová dokumentace.

Klíčová slova: tvářecí stroj, indukční ohřev, pyrometr, DC motor, regulátor, operátorský panel

The subject of this thesis is to address optimization of the forming machine of steel cylinders. At the start of the work summarizes theoretical information on the activities of existing equipment, described the issue of maintenance of reliability in finding vulnerabilities.

In subsequent chapters describes the solution reconstruction with subsequent selection of appropriate components. In writing this work I drew from personal experience using internal materials. The thesis is also the project documentation.

Key words: forming machine, induction heating, pyrometer, DC motor, controller, operator panel

## Seznam použitých symbolů a zkratek

Značka	Veličina	Jednotka
$B$	magnetická indukce	T
$C$	kapacita	F
$f$	frekvence	Hz
$I_c$	proud kapacitou	A
$L$	indukčnost	H
$M$	intenzita vyzařování	$W \cdot m^{-2}$
$ns$	jmenovité otáčky	$\text{min}^{-1}$
$S$	Poyntingův zářivý vektor	$W \cdot m^{-2}$
$T$	termodynamická teplota	K
$\phi_0$	magnetický tok	Wb
$\varepsilon$	emisivita	-
$\nabla$	Hamiltonův operátor nabla	-
$\mu$	permeabilita	$H \cdot m^{-1}$
$\sigma$	konduktivita	$S \cdot m^{-1}$
$\omega$	úhlová rychlost	$s^{-1}$
$\vartheta$	teplota	$^{\circ}\text{C}$
CPU	Central Processing Unit - procesor	
HMI	Human Machine Interface - rozhraní člověk-stroj	
OP	operátorský panel	
PLC	Programmable Logic Controller - programovatelný logický automat	
SOT	speciální ohřívač trubek	

## Obsah

<b>1.</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>7</b>
<b>2.</b>	<b>Tvářecí stroj .....</b>	<b>8</b>
2.1.	Tvářecí pochod .....	8
2.2.	Rotační kování .....	8
<b>3.</b>	<b>Popis funkce stávajícího zařízení .....</b>	<b>9</b>
3.1.	Indukční ohřev .....	10
3.1.1.	Základní princip .....	10
3.1.2.	Dělení indukčních ohřívacích zařízení .....	12
3.1.2.1.	Středofrekvenční indukční ohřev .....	12
3.2.	Zdroj indukčního ohřevu .....	13
3.2.1.	Měnič kmitočtu TMK – F2 .....	14
3.3.	Ohřívač .....	17
3.4.	Indukční pece .....	18
<b>4.</b>	<b>Bezdotykové měření teploty .....</b>	<b>20</b>
4.1.	Dělení pyrometrů .....	22
4.2.	Měření přenosu tepla .....	23
<b>5.</b>	<b>Tváření láhve .....</b>	<b>25</b>
5.1.	Programovatelný automat SAIA - PCA 1 .....	27
<b>6.</b>	<b>Provoz a údržba stroje .....</b>	<b>30</b>
6.1.	Rozbor spolehlivosti .....	32
<b>7.</b>	<b>Rekonstrukce a modernizace stávajícího zařízení .....</b>	<b>34</b>
7.1.	Popis chodu stroje .....	35
7.2.	Simatic S7 300 .....	37
7.3.	Otáčky vřetene .....	39
7.3.1.	DC motor .....	39
7.3.1.1.	Motor s cizím buzením .....	40
7.3.2.	Stejnoseměrný měnič .....	44
7.4.	Dimenzování vodičů .....	47
7.5.	Shrnutí provedené rekonstrukce .....	50
<b>8.</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>52</b>
	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>53</b>
	<b>Seznam příloh .....</b>	<b>54</b>

## 1. ÚVOD

S rozvojem průmyslu se vývoj značně posunul dopředu. Při návrhu řešení rekonstrukce kteréhokoliv stroje je důležité rozmyslet si, co od zařízení požadujeme.

Cílem této diplomové práce je optimalizace provozu tvářecího stroje. Zařízení se nachází v podniku VÍTKOVICE CYLINDERS a.s., která v současné době disponuje dvěma moderními výrobními technologiemi. Jedná se o výrobu láhví z trubek a zpětným protlačováním, pro které byly vybudovány výrobní linky s velkým podílem automatizace a robotizace.

Podnik má tři provozy. Provoz 1 je stará linka na výrobu ocelových tlakových láhví. V provozu 2 se vyrábí ocelové bezešvé tlakové láhve z trubek a také se používá technologie výroby ocelových mlecích koulí. Provoz 3 je nová moderní linka, ve které se vyrábí vysokotlaké ocelové láhve a nádoby na plyny.

Od roku 1992 je v provozu výrobní linka na tlakové ocelové láhve do  $\varnothing$  140 mm a od roku 1997 je postupně budována zcela nová výrobní linka na ocelové láhve do  $\varnothing$  140 mm. V roce 2008 byla otevřena unikátní výrobní linka na výrobu ocelových láhví až do  $\varnothing$  406 mm.

Tvářecí stroje patří mezi základní výrobní prostředky každého průmyslově vyspělého podniku.

Do značné míry rozhodují o produktivitě práce i efektivitě vynaložených investic. Jedním z hlavních faktorů ovlivňujících produktivitu práce je stupeň automatizace.

Rekonstrukce se týká zařízení umístěného v provozu 1.

Diplomová práce je členěna do několika kapitol. Z počátku jsou shrnuty teoretické informace o činnosti stávajícího zařízení, které je součástí staré linky, popsána problematika údržby s nalezením spolehlivostně slabých míst. Poté následuje popis řešení rekonstrukce s následnou volbou patřičných komponentů.

Při psaní této práce jsem vycházel z osobní zkušenosti za použití interních materiálů. Součástí diplomové práce je rovněž projektová dokumentace.

## 2. TVÁŘECÍ STROJ

Tvářecí stroj je dynamická soustava sloužící k realizaci úkonů technologického procesu, vedoucích k trvalému přetvoření objektu. Podle druhu relativního pohybu nástroje lze tvářecí stroje rozdělit do dvou základních skupin:

- a) stroje s přímočarým pohybem nástroje
- b) stroje s rotačním nebo obecným pohybem nástroje

Tvářecí stroje zpracovávají materiál tvářením za tepla nebo za studena. Tvářením rozumíme provádění trvalé změny tvaru materiálu působením mechanické síly bez odběru třísek. Podle způsobu průběhu dělíme tvářením na plošné, objemové a stříhání bez ohledu na to, zda přetvárný pochod probíhá bez předchozího ohřevu nebo s ním.

Tvářecí stroje se ve srovnání s obráběcími stroji vyznačují:

- robustnější a tužší konstrukcí
- menším odpadem materiálu
- horší přestavitelností a univerzálností

Jejich použití je výhodné pouze v hromadné výrobě. Energie potřebná k vykonání tvářecího pochodu se přivádí od motoru do pracovního prostoru ústrojím přenosu energie, které tvoří mechanismy.

### Volba tvářecího stroje

Pokud se má pro výrobu navrhnout vhodný tvářecí stroj, musíme uvažovat tyto činitele:

- množství vyráběných kusů
- rozměry součástí
- potřebné tvářecí síly

### 2.1. Tvářecí pochod

Základem tvářecích pochodů jsou trvalé deformace materiálů. Překračujeme při nich přetvárnou pevnost a měníme tvar i rozměry materiálů. Podle teploty rozlišujeme tvářením: [15]

a) za tepla

při tvářením současně s rozrušováním krystalické mřížky nastává její uzdravení, mechanické vlastnosti a struktura kovu se nemění. Pro teplotu tvářením platí:

$$T \geq 0,7 \cdot T_{lav} \quad (2.1)$$

b) za studena

při tvářením dochází ke změně mechanických vlastností, usměrňování struktury ve směru tvářením.

Pro teplotu tvářením platí:

$$T \leq 0,3 \cdot T_{lav} \quad (2.2)$$

při  $(0,3 \div 0,4)$  tavením nastává rekrystalizace.

### 2.2. Rotační kování

Technologie rotačního kování za tepla je užívána pro výrobu delších dílců kruhového nebo čtyřuhelníkového (čtvercového či obdélníkového) průřezu. Lze vyrobít dílce větších rozměrů kovaných za tepla, ale i menší kované za studena.



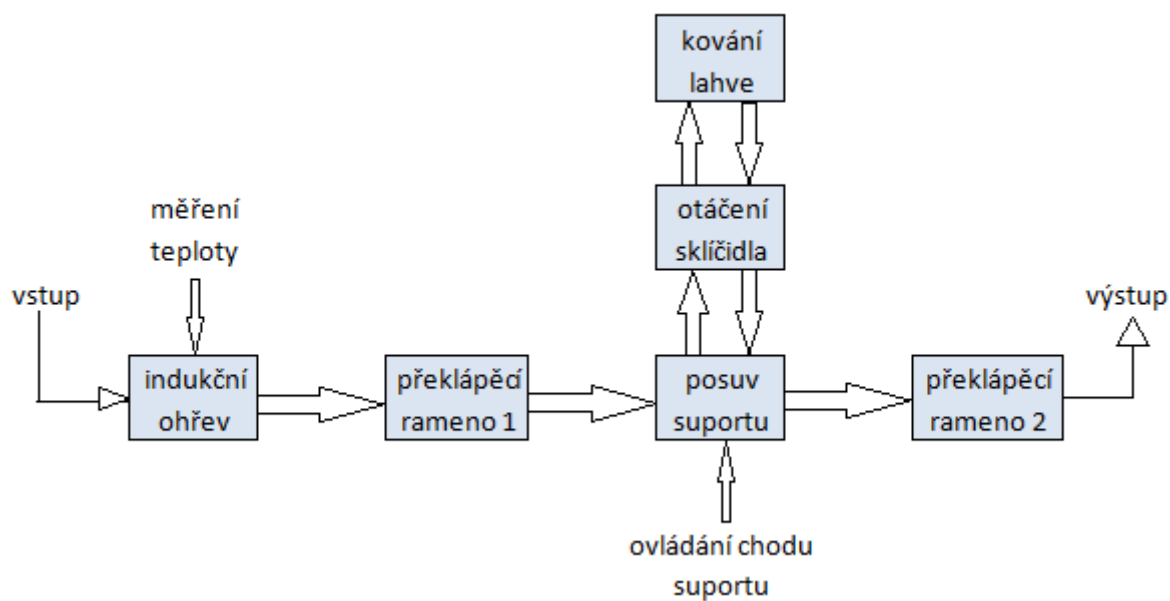
Tváření je realizováno dvěma až čtyřmi kovádky, která jsou ovládána krátkozdvihovým pákovým, excentrickým či klikovým mechanismem, polotovary jsou redukovány (prodlužovány), u dutých dílců též přemísťovány dovnitř.

Výhodou rotačního kování je čtyř až šestinásobná produktivita oproti kování na bucharech.

### 3. POPIS FUNKCE STÁVAJÍCÍHO ZAŘÍZENÍ



Obr. 3.1: Stávající tvářecí stroj Usine de Wecker



Obr. 3.2: Blokové schéma pracovního cyklu při tváření ocelové lahve

## Ohřev láhve

Nejprve je ocelová tlaková láhev dopravena pomocí válečkového dopravníku poháněného motorem do blízkosti induktoru.

Vstupním nahazovačem je přemístěna na nakulovací rošt, přes který se dopraví do pozice před induktor. Zde je tlačkou, jejíž pohyb provádí vzduchový píst, vtlačena do induktoru. V induktoru se láhev ohřívá na žádanou teplotu. V průběhu ohřevu dochází k jejímu otáčení.

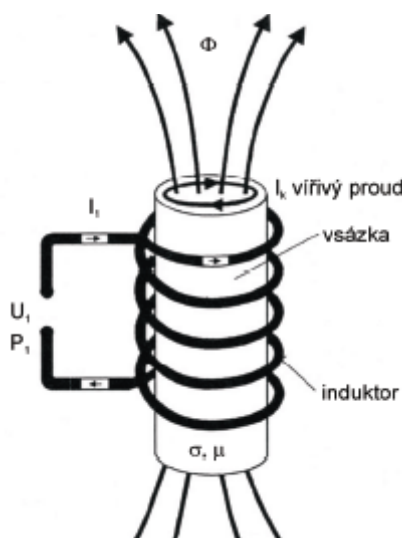
Při dosažení žádané teploty je láhev vytlačena zpět na pozici před induktor a výstupním vyhazovačem, přes další nakulovací rošt, dopravena na překlápěcí rameno tvářecího stroje.

### 3.1. Indukční ohřev

Indukční ohřev, respektive jeho ovládání je provedeno nezávisle na ovládání tvářecího stroje.

Indukční zařízení se skládá z cívky, kterou prochází střídavý proud, ze zdroje a vsázky. V našem případě je vsázkou ocelová tlaková láhev, která přijímá elektromagnetické vlnění vyzářené cívkou. Je to v podstatě vzduchový transformátor. Cívka je stranou primární a vsázka stranou sekundární, spojenou nakrátko.

#### 3.1.1. Základní princip



Obr. 3.3: Princip indukčního zařízení

Princip je založen tak, že do střídavého magnetického pole je vložen vodivý materiál. Při průchodu proudu rovinným zářičem vzniká v jeho okolí rovinné elektromagnetické vlnění. Pokud ovšem proud prochází válcovým zářičem, dochází v jeho dutině ke vzniku válcového elektromagnetického vlnění.

V důsledku procházejícího proudu se v dutině cívky indukuje magnetické pole, jehož intenzita generuje v závitěch indukované vířivé proudy, které mají opačný směr jako indukující proud cívky. Vířivé proudy se uzavírají po obvodu vsázky v rovinách kolmých na společnou osu cívky a vsázky. Hustota proudu se zmenšuje směrem k této ose. Vyzářená energie dopadá na povrch vsázky, kde dochází k jejímu pohlcování. Pohlcená přijatá energie se utlumuje, a těleso se ohřívá směrem od povrchu (teplo se ve vsázce vyvíjí podle Jouleova zákona).

Teplo se dopravuje střídavým magnetickým polem a tvoří se přímo ve vsázce, z čehož plyne, že se jedná o přímý ohřev. Na rozdíl od odporového ohřevu, ve kterém dochází k předávání tepla do ohřívaného předmětu tepelným spádem.

Výhody:

- ✓ nejteplejším místem celého tavicího zařízení je vsázka a vše ostatní je chladnější
- ✓ vsázka není mechanicky vázána na samotnou indukční pec

### Válcové elektromagnetické vlnění

Vlnový charakter elektromagnetického pole určují Maxwellovy rovnice. Podstatou vlnových jevů je jejich konečná rychlost šíření. Při nekonečně velké rychlosti by šíření nebylo postupné a neexistovalo by ani vlnění.

Vlnové rovnice pro šíření magnetické a elektrické složky stejné harmonické vlny v elektricky libovolném prostředí mají tvar:

$$\nabla^2 \bar{H} + k^2 \cdot \bar{H} = 0 \quad (3.1)$$

$$\nabla^2 \bar{E} + k^2 \cdot \bar{E} = 0 \quad (3.2)$$

kde  $\nabla$  je Hamiltonův operátor nabla,  $\bar{E}$  a  $\bar{H}$  jsou rotující fázory v komplexní rovině,  $k$  - je konstanta šíření vlnění (tzv. vlnové číslo). V konstantě jsou souhrnně uvedeny úhlová rychlost vlnění a elektrické vlastnosti prostředí.

$$k^2 = \omega^2 \cdot \varepsilon \cdot \mu - j\omega \cdot \gamma \cdot \mu = -j\omega \cdot \mu \cdot (\gamma + j\omega \cdot \varepsilon) \quad (3.3)$$

$$k = \sqrt{-j\omega \cdot \mu \cdot (\gamma + j\omega \cdot \varepsilon)} = \alpha - j\beta$$

$\alpha$  je fázová konstanta a  $\beta$  je konstanta tlumení (činitel tlumení).

Důsledkem utlumování vlnění ve vsázce směrem k ose dochází ke zmenšování magnetické složky intenzity pole. Na povrchu vsázky je hodnota maximální.

Vlnové rovnice válcové elektromagnetické vlny pro všeobecné prostředí mají tvar: [2]

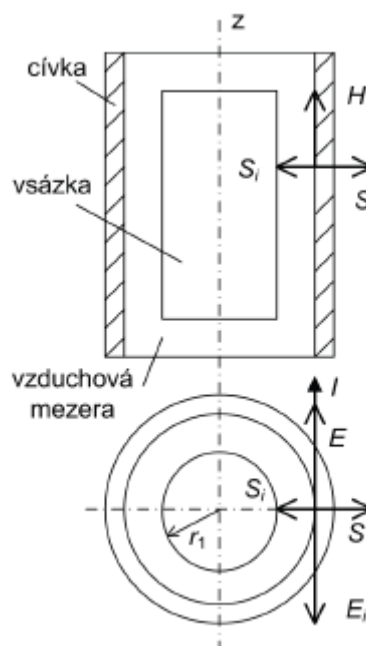
$$\frac{\partial^2 \bar{H}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \bar{H}}{\partial r} + k^2 \bar{H} = 0 \quad (3.4)$$

$$\frac{\partial^2 \bar{E}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \bar{E}}{\partial r} + k^2 \bar{E} = 0 \quad (3.5)$$

### Poyntingův zářivý vektor

Používá se pro výpočty elektromagnetického pole, např. u indukčních ohřevů. Je to vektorový součin vektorů intenzity elektrického pole a intenzity magnetického pole, které jsou kolmé nejen k sobě, ale také ke směru šíření elektromagnetické vlny.

$$S = E \times H \quad (W \cdot m^{-2}) \quad (3.6)$$



Obr. 3.4: Poyntingův vektor v souosém systému válcové cívky a vsázky. [2]

Kde  $E$  je směr intenzity elektrického pole,  $E_i$  představuje indukované napětí na jednotku výšky cívky,  $S$  a  $S_i$  jsou hustoty toku energie.  $S$  - má význam elektrických ztrát,  $S_i$  je vektorový součin intenzity elektrického pole  $E_i$  v důsledku generovaných vířivých proudů a intenzity magnetického pole  $H$ .

### 3.1.2. Dělení indukčních ohřívacích zařízení

Můžeme je dělit podle několika hledisek: [8]

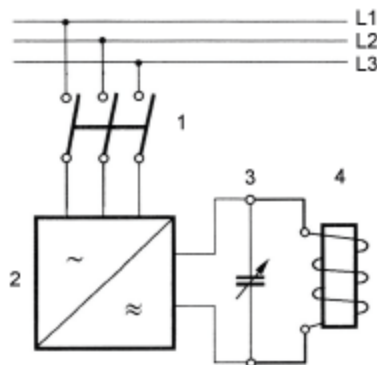
1. Dle frekvence napájecího proudu:
  - nízkofrekvenční - jsou napájeny proudem se síťovým kmitočtem,
  - středofrekvenční - frekvence napájecího proudu je 150 Hz - 20 kHz,
  - vysokofrekvenční - frekvence napájecího proudu je 70 – 450 kHz,
2. Podle použití:
  - tavící pece,
  - povrchové ohřívání,
  - pájení, svařování
  - kalení zubů kol a vaček,
  - kalení válců pro válcovací stolice,
3. Podle typu jádra:
  - indukční zařízení s železným jádrem,
  - indukční zařízení bez železného jádra.

#### 3.1.2.1. Středofrekvenční indukční ohřev

Středofrekvenční a vysokofrekvenční indukční ohřevy mají mezi napájecí a ohřívací část obvodu vložen měnič frekvence. Ve starších průmyslových závodech byl vytvořen rotačními měniči frekvence.

V rotačních heteropolárních generátorech (tzn. při pohledu proti ose generátoru je vidět na statoru prostřídáné severní a jižní póly budícího vinutí) se vyrábí proudy v rozmezí kmitočtů asi 500 Hz až 10 000 Hz. Ty pracují na principu vyladěného rezonančního obvodu, složeného z pecní cívky a paralelně připojené kondenzátorové baterie. Vyladění obvodu se provádí postupným zapojováním kondenzátorových větví, až ampérmetry ukazují stejné hodnoty proudů v cívce a v kondenzátorové baterii. Problémem rotačních měničů je, že pohybující se součásti způsobují hluk a navíc snižují jejich spolehlivost.

Dnešní moderní zařízení pracují s výkonovými polovodičovými prvky, které jsou zpravidla velmi stabilní a bezporuchové. Tyto měniče mají vyšší účinnost než měniče rotační.



Obr. 3.5: Princip zapojení středofrekvenčního zdroje napájení

1 - výkonový vypínač, 2 - měnič frekvence, 3 - kondenzátorová baterie, 4 - indukční ohřev

### 3.2. Zdroj indukčního ohřevu

#### *Zdroj indukčního ohřevu s regulací kmitočtu tyristory*

Tyristorový měnič se skládá z usměrňovače, meziobvodové tlumivky a střídače. Usměrňovač je celofázový 3f můstek, s možností invertorového chodu. Střídač pracuje jako invertor proudu, a jeho kmitočet je řízený zátěží (topným obvodem). Činností střídače jsou do topného oscilačního obvodu zaváděny obdélníkové proudové impulsy střídavé polarity.

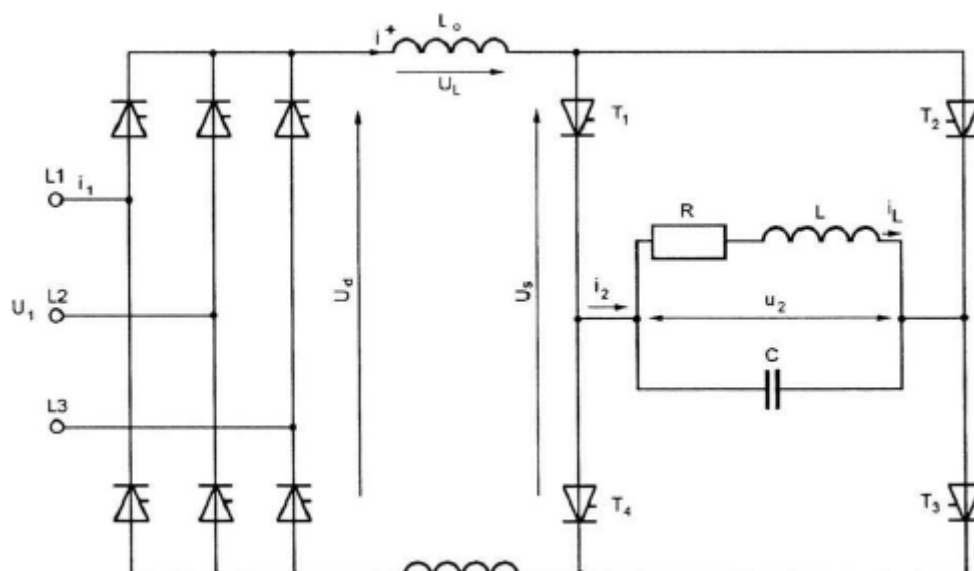
Oscilační obvod je složen z prvků cívky induktoru (R, L, C). Kompenzační kondenzátor slouží současně jako kondenzátor komutační pro tyristory střídače.

Meziobvodová tlumivka má velkou indukčnost a plní tyto funkce: [3]

1. Funkce oddělovací - před tlumivkou je napětí topného oscilačního obvodu spínané přes tyristory. Tlumivka zachycuje okamžité napěťové rozdíly mezi usměrňovačem a střídačem
2. Funkce vyhlazovací - tlumivka má za úkol vyhlazovat stejnosměrný proud z usměrňovače
3. Funkce omezovací - má za úkol při zkratu ve střídači omezit nárůst zkratového proudu na přípustnou hodnotu součtového proudu pro tyristory až do doby než zapůsobí ochrany.

Mezi výhody patří provozní spolehlivost, menší energetická náročnost, okamžité přizpůsobení rezonančního obvodu pro požadovanou frekvenci, odpadá doladování kondenzátorů, malá hlučnost, malé rozměry.

Nevýhodou je zpětné působení na napájecí síť a znečištění vyššími harmonickými. Tuto nevýhodu lze však potlačit pomocí hradicích členů a filtrů na vyšší harmonické.



Obr. 3.6: Zapojení tyristorového měniče kmitočtu [3]

### Hloubka vniku záření závisí na kmitočtu

Pro hloubku vniku platí: [1]

$$\delta' = \sqrt{\frac{2}{\omega \cdot \mu \cdot \sigma}} = \sqrt{\frac{2}{2\pi \cdot f \cdot \mu \cdot \sigma}} \quad (3.7)$$

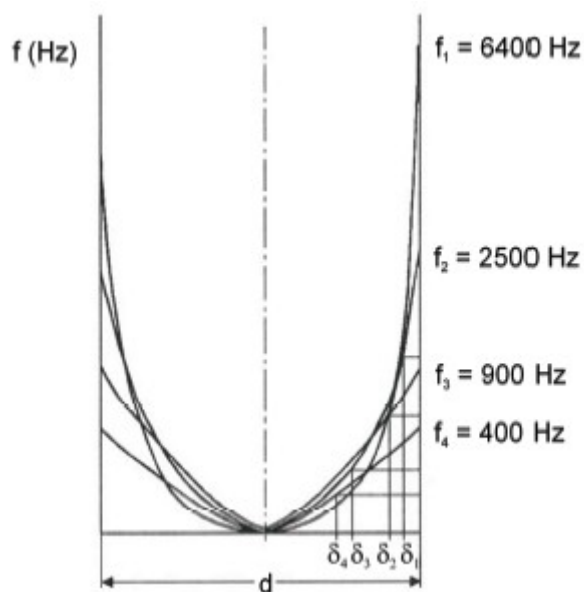
kde  $\delta$  je hloubka vniku (m),  $f$  je frekvence (Hz),  $\mu$  permeabilita ( $H \cdot m^{-1}$ ),  $\sigma$  konduktivita ( $S \cdot m^{-1}$ ).

Tab. 3.1: Volba kmitočtu pro indukční prohřívání oceli

f (Hz)	50	500	1000	2000	4000	8000
d (mm)	160÷500	80÷280	50÷180	35÷120	22÷70	15÷50

Tab. 3.2: Závislost hloubky vniku na kmitočtu

frekvence (Hz)	hloubka vniku pro ocel (mm)	
	20° C	800° C
50	8	71,2
1000	1,8	15,9
10000	0,56	5
1000000	0,056	0,5



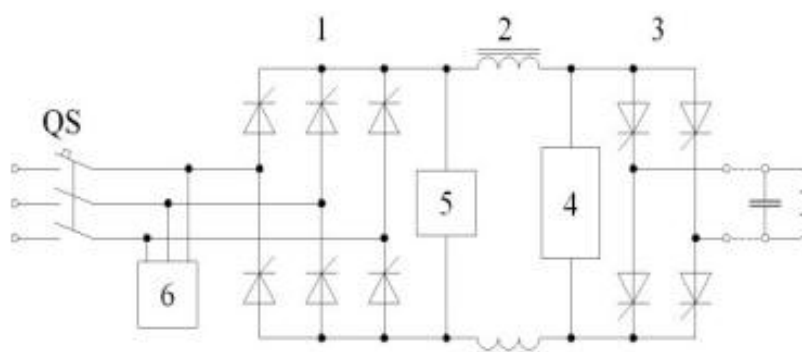
Obr. 3.7: Závislost hloubky vniku elektromagnetického vlnění na kmitočtu [2]

### 3.2.1. Měníč kmitočtu TMK - F2

K ohřevu je použit tento typ tyristorového měniče. Jedná se o statický generátor elektrického výkonu o výstupním kmitočtu (0,2 - 10 kHz), určený pro napájení indukčních elektrotepelných zařízení se zátěží tvořenou paralelním, případně paralelně-sériovým rezonančním obvodem.

Zátěž tvoří induktor a kompenzační středofrekvenční kondenzátory ohříváče. Kondenzátory v měniči kmitočtu jsou plněny minerálním olejem a středofrekvenční kondenzátory v ohříváči směsí benzyltoluenu a dibenzyltoluenu pod obchodním názvem JARYLEC. [13]

Měníč lze napájet ze sítě nízkého nebo vysokého napětí přes přizpůsobovací transformátor, který není součástí měniče.



Obr. 3.8: Tyristorový měnič kmitočtu TMK - F2 [20]

QS - silový vypínač, 1 - řízený třífázový šestipulsní usměrňovač, 2 - meziobvodová tlumivka (vyhlazuje usměrněný proud), 3 - dva bloky střídače -invertoru proudu s komutačními tlumivkami a komutačními ochranami. Na výstup je připojena zátěž (paralelní oscilační obvod). 4 - startovací obvod (slouží k rozkmitání zátěže při startu střídače), 5,6 - přepětové ochrany. Na výstup je připojena vnější zátěž ve formě paralelního oscilačního obvodu.

V řídicí části se nacházejí měřicí přístroje, jističí a spínací prvky. Řízení chodu měniče a ochranu elektronických dílů při poruchových stavech zajišťuje řídicí systém složený z regulátoru, převodníků a volně programovatelného automatu.

Ve spodní části je uloženo čerpadlo vnitřního chladicího okruhu s tepelným výměníkem voda-voda a filtrem pro snižování vodivosti vody. Pro chlazení je použit dvouokruhový vodní chladicí systém s uzavřeným vnitřním okruhem. Vnitřní uzavřený okruh chladí tyristory, vyhlazovací a komutační tlumivky a rezistory ochranných RC členů. V silových obvodech jsou použity tyristory a diody kotoučového tvaru s intenzivním oboustranným chlazením, vodní chlazení je hlídáno termostaty. Okruh je sestaven z neželezných materiálů a plní se vodou s nízkou elektrickou vodivostí (demineralizovaná voda).

Tab. 3.3: Parametry měniče kmitočtu s paralelním rezonančním obvodem

Typ	U <sub>2</sub> [V]	f <sub>min.</sub> - f <sub>max.</sub> [kHz]	P <sub>2</sub> [kW]			A [mm]
TMK - F2	600	0,2 – 0,6	400	500	630	1430
		0,5 – 1,5	400	500	630	
		1 – 3	315	400	500	
		1,5 – 4	315	400		
		2 – 6	200	250	315	
	800	0,4 – 1	800	1000		1830
		0,5 – 1,5	800			
		1 – 3	630			

Tab. 3.4: Parametry měniče kmitočtu s paralelně-sériovým rezonančním obvodem

Typ	U <sub>2</sub> [V]	f <sub>min.</sub> - f <sub>max.</sub> [kHz]	P <sub>2</sub> [kW]	A [mm]
TMK - F2	750	0,5 – 1,5	do 630	1430

#### Přednosti TMK [20]

- ✓ vysoká energetická účinnost v celém rozsahu výkonů - nad 90%
- ✓ rozsah nastavení výkonu od 10 % do 100 % jmenovité hodnoty
- ✓ rozsah výstupního kmitočtu ( $f_{\min}$  –  $f_{\max}$ ) u jednotlivých typů 33 % - 100 % jmenovité hodnoty
- ✓ uzavřený chladicí okruh s vodou o malé elektrické vodivosti omezuje negativní elektrochemické účinky na součásti chladicí soustavy a zajišťuje dobrý izolační stav silových obvodů
- ✓ vysoký stupeň krytí umožňuje umístění měniče v prašném prostředí
- ✓ spolehlivost startů a chodu měniče v širokém rozsahu zatěžovací impedance
- ✓ dokonalé galvanické oddělení řídicích a silových obvodů
- ✓ jednoduchý a přehledný řídicí systém s malým počtem výměnných jednotek zvyšuje spolehlivost, usnadňuje lokalizaci poruchy a rychlé obnovení provozu
- ✓ vysoká odolnost řídicích obvodů vůči vnějšímu elektromagnetickému rušení



### **Regulátor měniče se skládá ze 4 jednotek**

- SOI-K obsahuje stabilizátor napětí  $\pm 15V$  pro napájení ostatních jednotek, prvky místního ovládání a imitátor umožňující odrolu funkce regulátoru.
- LP-K obsahuje logické a časové obvody, které zajišťují ve vazbě na programovatelný automat zapínání a vypínání střídače a obvody pro vyhodnocení a signalizaci poruchových stavů v regulátoru
- UR-K obsahuje obvody fázového řízení usměrňovače a regulátor napětí a proudu
- SP obsahuje obvody fázového řízení střídače a regulátor doby zavření tyristorů střídače

### **3.3. Ohříváč**

Je složen z kondenzátorové skříně, na které je umístěn induktor a bezdotykový měřič teploty.

V kondenzátorové skříně je kromě prostoru vodního hospodářství umístěn hlídač izolace, tři středofrekvenční kondenzátory, vodou chlazené přípojnice, teplotní čidla hlídající teplotu přípojníc a průtokové čidla hlídající průtok vody v chladicím obvodu.

Induktor je posazen na dva vodící trny a připojen ke sběrným jdocím z kondenzátorové skříně. Má dva chladicí obvody, které se pomocí rychlospojek připojí k systému vodního chlazení uvnitř kondenzátorové skříně.

Výměna induktoru, pokud chceme nahřívat jiný průměr lahví či akumulátorů, je snadná o poměrně rychlá.

#### **Induktor k ohřevu láhví**

Jedná se o speciální ohříváč, určený k indukčnímu ohřevu konců trubek nebo akumulátorů na kovací teplotu.

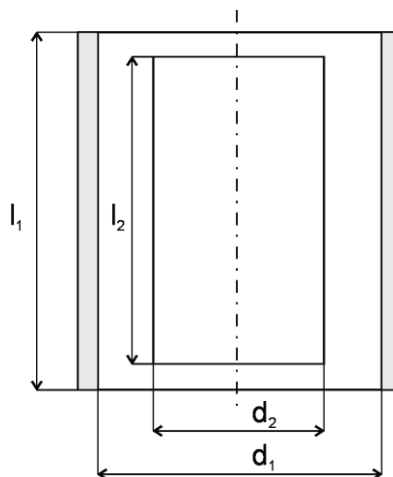
Induktor ohřívá ocel na teplotu 1150 °C až 1250 °C. K prohřívání se ve starých provozech používaly palivové pece vytápěné plynem. Prohřátí ale trvalo příliš dlouho.

Ohřev v indukční peci trvá velmi krátkou dobu, to znamená, že nenastává oxidace na povrchu.

Induktor má válcový tvar a délku asi 1 m. Vnitřní průměr cívky je přizpůsoben tvaru povrchu ohřívaného předmětu. Cívka je zhotovená obvykle z měděné trubky, chlazené vodou.



Obr. 3.9: SOT 120/8 v závodu firmy VÍTKOVICE CYLINDERS a.s.



Obr. 3.10: Elektrické schéma dvou souosých obvodů [3]

kde  $d_1$  je vnitřní průměr cívky,  $d_2$  je průměr vsázky,  $l_1$  délka cívky a  $l_2$  délka vsázky

### 3.4. Indukční pece

Indukční pece mají poměrně malou reálnou složku impedance, což zaznamená, že účinnost je malý

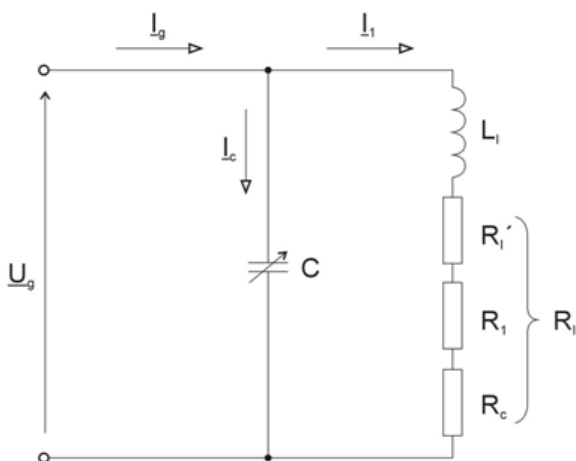
$$\cos \varphi = \frac{R_I}{Z_I} = \frac{R_I}{\sqrt{R_I^2 + (\omega \cdot L_I)^2}} = \frac{R_I}{\omega \cdot L_I} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{Q_I^2} + 1}} = \frac{1}{\sqrt{1 + Q_I^2}} \cong \frac{1}{Q_I} \quad (3.8)$$

$Q_I$  značí „jakost“ obvodu, pro kterou platí:

$$Q_I = \frac{\omega \cdot L_I}{R_I} \quad (3.9)$$

kde  $L_I$  je indukčnost pece,  $R_I$  je činný odpor celé pece (odpor vsázky, cívky, dielektrické ztráty C a odpor vedení mezi C a cívkou).

Pro odlehčení zdroje od dodávky jalového magnetizačního proudu se paralelně k cívce připojuje vhodně dimenzovaná kapacita, která dodává magnetizační složku proudu  $I_1$ .



Obr. 3.11: Elektrické schéma pro odvození potřebné kapacity [1]

### Účinnost indukčního ohřevu

Závisí na tvaru ohřivaného materiálu a induktoru. Obecně platí, že čím lépe induktor „obepíná“ ohřivaný materiál a čím je přesnější (minimální vůle mezi materiálem a induktorem), tím je účinnost vyšší.

Pro válcový tvar platí:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{D^2}{d^2} \left( 1 + 6,25 \cdot \frac{\delta^2}{d^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{\gamma_2}{\mu_r \cdot \gamma_1}}} \quad (3.10)$$

Pro dobrou účinnost ohřevu je nutné, aby 1. člen  $(1 + 6,25 \cdot \delta^2/d^2)$  byl co nejmenší. Pro tento požadavek můžeme psát:

$$\frac{\delta}{d} \leq \frac{1}{6,25} \approx 0,125 \quad (3.11)$$

ze vztahu vyplývá, že účinnost je závislá na velikosti vůle mezi materiálem a induktorem. To zaručuje pouze minimální vůle.

$$D \geq d$$

Je třeba řešit i velikost použité frekvence, aby hloubka vniku  $\delta$  nebyla větší jak  $0,125d$ .

$$f_{\min} = 1,6 \cdot 10^4 \cdot \frac{1}{\gamma \cdot \mu_r \cdot d^2} \quad (3.12)$$

Indukční ohřev umožňuje relativně vysoké měrné příkony do ohřivaného tělesa. Volbou vhodné frekvence proudu a napětí, které napájí induktor (vinutí), se může, podle potřeby, ovlivnit rozdělení „přívodu“ tepla cestou změny hloubky vniku.

### Odvození potřebné kapacity

Kapacita se nastavuje na takovou hodnotu, aby byl vlastní kmitočet obvodu roven přiváděnému kmitočtu. V případě, že se tak stane, dodává zdroj do obvodu ( $L_I$ ,  $R_I$ ,  $C$ ) pouze činný příkon. Pokud obvod není vyladěn, má proud  $I_g$  ze zdroje složku činnou a jalovou.

Pro proud ze zdroje obecně platí:

$$I_g = I_1 + I_c = \frac{U_g}{R_I + j\omega \cdot L_I} + j\omega \cdot C \cdot U_g \quad (3.13)$$

Po úpravě na reálnou a imaginární složku:

$$\begin{aligned} I_g &= I_{g \text{ Real}} + jI_{g \text{ Imag}} = \\ &= \frac{U_g}{R_I^2 + (\omega \cdot L_I)^2} \cdot R_I + j \frac{U_g}{R_I^2 + (\omega \cdot L_I)^2} \cdot (\omega \cdot C \cdot R_I^2 + \omega \cdot C \cdot \omega^2 \cdot L_I^2 - \omega \cdot L_I) \end{aligned} \quad (3.14)$$

Proud procházející kapacitou  $I_c$  je téměř stejně velký jako proud  $I_1$  v pecní cívce. Proudů mají poměrně vysoké hodnoty.

Potřebná kapacita pro vyladění vychází z podmínky, že jalová složka  $I_{g \text{ Imag}} = 0$ .

Jakmile má kapacita správnou velikost, je obvod v rezonanci pro přiváděný kmitočet a odebírá tedy ze zdroje jen činný výkon. Vyladěný pecní obvod se vůči zdroji chová jako činný zatěžovací odpor.

Pro který platí:

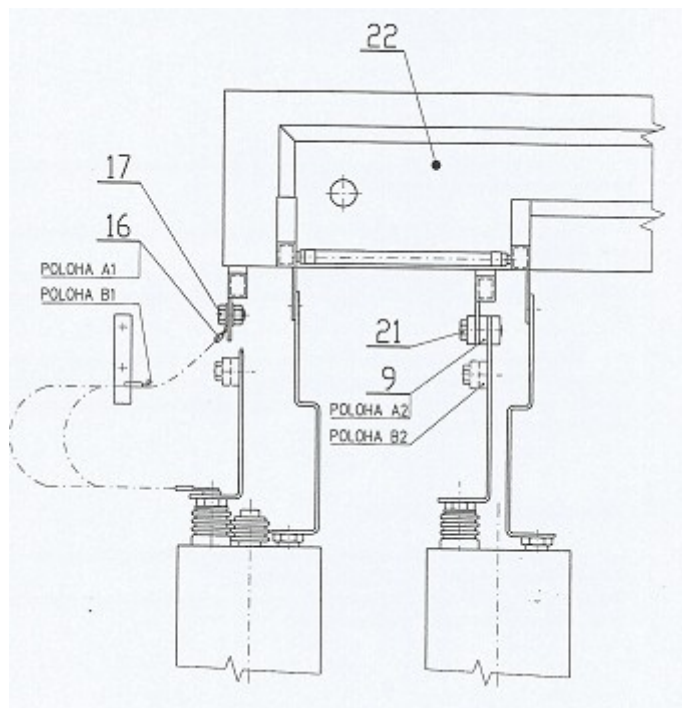
$$R_z = \frac{U_g}{I_{g \text{ Real}}} = \frac{R_I^2 + (\omega \cdot L_I)^2}{R_I} = R_I \cdot (1 + Q_I^2) \quad (3.15)$$

Velikost proudu v kapacitním obvodu je:

$$|I_c| = I_1 \cdot \frac{Q_I}{\sqrt{1+Q_I^2}} \cong I_1 \quad (3.16)$$

### Změna kompenzační kapacity

Pro nastavení pracovního kmitočtu a výkonu ohřívače je nutno připojit vhodnou velikost kapacity kompenzačních kondenzátorů.



Obr. 3.12: Nastavení velikost kapacity [13]

Jemné ladění se provádí připojováním 6 odboček na jednom kondenzátoru pomocí instalovaných kabelů (16). V poloze A1 je odbočka připojena, odpojení odbočky se provede tak, že se uvolní šroub (17) a kabel se přesune do polohy B1, ve které jej upevníme demontovaným šroubem.

Hrubé ladění se provádí pomocí distanční podložky. V horní poloze A2 (blíže k přípojnici (22)) je odbočka připojena pomocí šroubů (21), ve spodní poloze B2 (blíže k nádobě kondenzátoru) je odbočka odpojena. V odpojené poloze zajistíme distanční podložku (9) dotažením šroubů.

## 4. BEZDOTYKOVÉ MĚŘENÍ TEPLOTY

Pro snímání teploty vsázky v induktoru slouží bezdotykový měřič teploty (pyrometr) UPF IV.

### Pyrometr UPF IV

Patří mezi *stabilní pyrometry*. Ty jsou napájeny síťovým napětím a instalují se na vhodném místě pro monitorování. Snímací část, která obsahuje optiku a detektor záření, se umísťuje v blízkosti měřeného objektu. Vyhodnocovací zařízení s elektronickými obvody bývá umístěno např.

v dozorně, nebo na vhodném místě. Při některých aplikacích je nutné těleso pyrometru chladit.

Výstup z pyrometru lze zpracovat programovatelným automatem nebo digitálním regulátorem.

Pro práci při teplotě okolí vyšší než 65 °C a v prašném prostředí se dodává k pyrometru kryt

s vodním chlazením, který jej chrání nejen proti vysokým teplotám, ale i proti mechanickému poškození.

#### Nastavení:

Pyrometr, umístěný v držáku, se zaměřuje na nejteplejší místo v induktoru ohřevu trubek. Po odsunutí krytky je v průzoru vidět tmavý terčík. Vhodným natočením měřiče teploty v držáku zaměříme tmavý terčík tak, aby snímal vnitřní stranu konce ohříváné trubky.

Tab. 4.1: Technické parametry pyrometru [20]

UPF IV			1000	1200	1300	1400
Jmenovitá teplota pro	$\epsilon = 1$	[°C]	1000	1200	1300	1400
Rozsah měření	$\epsilon = 1$	[°C]	700 – 1000	800 – 1200	800 – 1300	900 – 1400
Jmenovitá zaměřovací vzdálenost	L	[m]	0,5 nebo 1,0			
Průměr zaměřovacího bodu	L = 0,5	[mm]	7	4,7	3,6	3,6
	L = 1,0	[mm]	17	11,2	8,5	8,5
Rozsah zaměřovací vzdálenosti		[%]	± 50	± 30	± 25	± 25
Výstupní napětí		[V]	0 – 10			
Minimální zatěžovací odpor		[Ω]	500			
Reprodukovatelná přesnost měření		[%]	1			
Spektrální citlivost		[μm]	0,8 ÷ 1,1			
Rychlost reakce na skokovou změnu teploty		[ms]	100			
Provozní teplota	reálná	[°C]	45			
	maximální	[°C]	55			
Napájecí DC napětí		[V]	22 – 27			
Odběr naprázdno při 24 V DC		[mA]	< 16			

Uvedená reprodukovatelná přesnost platí pro horní polovinu rozsahu. Při jiné zaměřovací vzdálenosti než jmenovité je průměr zaměřovacího bodu vždy větší.



Obr. 4.1: Úzkopaprskový pyrometr společnosti Roboterm s r.o.

## Konstrukce bezdotykových teploměrů

Konstrukce se skládá z optické soustavy (čoček, optických vláken, spektrálních filtrů), která určuje průměr měřené oblasti v předepsané vzdálenosti. Pro zaměření měřené oblasti se používají světelné nebo laserové zaměřovače. Paprsky jsou soustředěny do detektoru, kterým bývá fotovoltaiický článek nebo fotorezistor. Vzniká tak elektrický signál, který je zesílen a různě zobrazen.

Mezi výhody bezdotykových teploměrů patří:

- ✓ možnost měření i vzdálených nebo pohybujících se předmětů,
- ✓ měření předmětů pod napětím,
- ✓ snadnost měření, neovlivňování měřeného povrchu,
- ✓ schopnost měřit i velmi vysoké teploty až do 3000 °C,
- ✓ možnost měření rychlých změn teploty – pyrometry reagují na změny v milisekundách, takže můžeme uskutečnit více měření v relativně krátké době.

Nevýhody bezdotykových teploměrů:

- měří se pouze povrchová teplota,
- většinou jsou spojené s neznalostí teorie sálání nebo chybným nastavením okrajových podmínek měření.

*Chybné nastavení může být způsobené:*

neznalostí správné emisivity povrchu tělesa, neznalostí správné hodnoty propustnosti prostředí mezi čidlem a měřeným objektem, nepřesnou korekcí odraženého záření z okolního prostředí na měřený objekt, špatným zaměřením měřeného objektu.

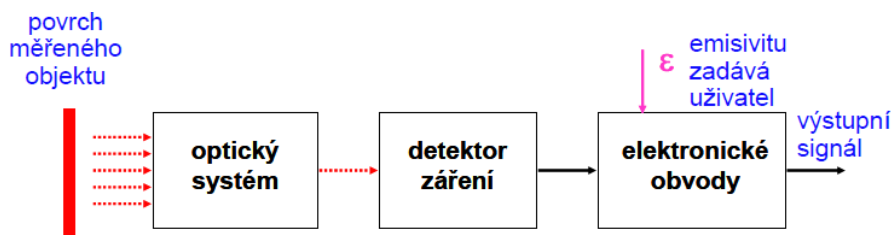
### 4.1. Rozdělení pyrometrů

#### *Monochromatické*

Jsou schopné přesně měřit pouze v úzkém pásmu vlnových délek.

#### *Úhrnné (radiační)*

Dokážou vyhodnocovat tepelné záření v celém spektru vlnových délek, pracují v oblasti vlnových délek od 3 μm.



Obr. 4.2: Blokové schéma radiačního pyrometru [14]

Optický systém je sestaven z čoček nebo zrcadel. Čidlem bývá baterie termočlánků (až 30 měřících spojů na ploše 4 mm<sup>2</sup>), dále bolometr (fóliový odporový teploměr) nebo termistor. Volba optiky se řídí měřicím rozsahem. Ten je standardně 600-2000 °C a 0-1000 °C. Fotoelektrický detektor převádí tepelné záření na elektrické napětí, proud nebo odpor. V elektronických obvodech je výstupní signál zpracován. Signál se v A/D převodníku digitalizuje.

### ***Pásmové***

Spektrálně selektivní pyrometry, pracují v úzkém rozmezí vlnových délek. Volba tohoto rozmezí souvisí s požadovaným účelem měření. Mají možnost nastavení šířky pásma vlnových délek od 10nm do několika mm. Požadované pásmo se vymezuje použitím - vhodné optiky, optického filtru a vhodnou spektrální citlivostí detektoru. Jako čidla se využívá fotoelektrických detektorů (tj. fotonek, fotočlánků, fotodiod, fototranzistorů a fotoodporů). Spektrální citlivost je závislá na typu čidla. Např. křemíkové fotočlánky mají citlivost v rozsahu 0,6-1,8  $\mu\text{m}$ , fotoodpory PbS 0,5-3,6  $\mu\text{m}$ , selenové fotočlánky v oblasti viditelného záření.

### ***Poměrové***

Vyhodnocují povrchovou teplotu objektu na základě poměru dvou intenzit vyzařování při dvou různých vlnových délkách

### ***Pyrometry s automatickou korekcí emisivity***

Měří povrchovou teplotu objektu bez znalosti emisivity. Měří se monochromatickým pyrometrem střídavě intenzita vyzařování měřeného objektu a intenzita vyzařování měřeného objektu ozářeného laserem s přesně definovanou intenzitou vyzařování.

## **4.2. Měření přenosu tepla**

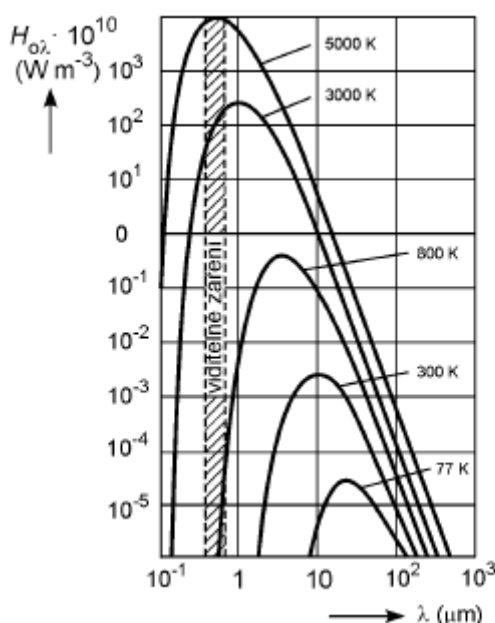
Přenos tepla sáláním se děje pomocí elektromagnetických vln v celém rozsahu vlnových délek.

Elektromagnetické vlnění je vytvářeno každým neprůzračným tělesem o teplotě větší, než je absolutní nula (0 K = -273,15 °C). Toto těleso vysílá infračervené záření, odpovídající jeho teplotě (Planckův zákon).

Spektrum tohoto vyzařování pokrývá vlnové délky od 0,7 do 1000  $\mu\text{m}$ . Pro měřicí účely se užívá elektromagnetické spektrum s rozsahem od 0,7 do 14  $\mu\text{m}$ .

Pro všechny vlnové délky platí:

$$A_{\lambda} + B_{\lambda} + C_{\lambda} = 1 \quad (4.1)$$



Obr. 4.3: Diagram vyzařování ideálního tělesa

Z diagramu je patrné, že tělesa při vysokých teplotách vyzařují ještě i malé množství viditelného záření. Rovněž můžeme vidět, že maximum vyzařování se posunuje směrem ke stále kratším vlnovým délkám, když roste teplota měřeného objektu a že křivky tělesa se při různých teplotách nepřekrývají. Vyzařovaná energie v celém vlnovém rozsahu (plocha pod každou křivkou) roste se 4. mocninou teploty. Neviditelná část spektra však obsahuje až 100 000 krát více energie. Na tom staví infračervená technologie.

### Infračervený bezdotykový teploměr

O popis vyzařování černého tělesa se pokoušeli také rakouští fyzikové Josef Stefan a Ludwig Boltzmann, kteří zjistili, že intenzita vyzařování černého tělesa je přímo úměrná čtvrté mocnině termodynamické teploty černého tělesa.

$$M = \sigma \cdot T^4 \quad (4.2)$$

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$  a je to Stefan-Boltzmannova konstanta,  $T$  je termodynamická teplota.

Infračervený bezdotykový teploměr je založen na principu měření množství takto vyzářené energie v infračerveném spektru. Jelikož Stefan-Boltzmannův zákon platí pro černá tělesa, zavádíme pro tělesa reálnou veličinu, kterou nazýváme **emisivita**.

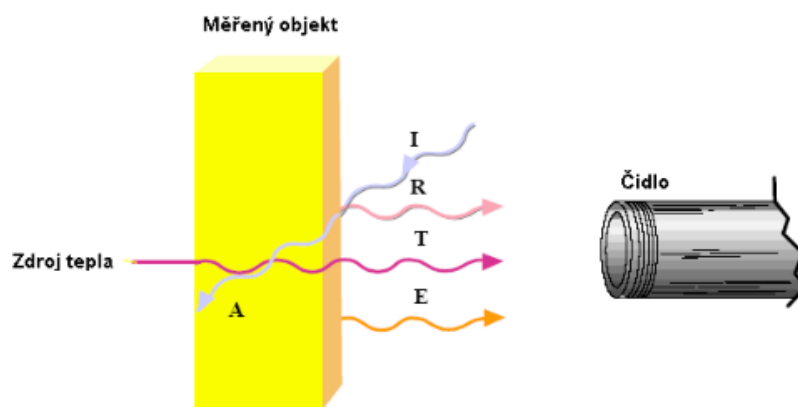
Emisivita závisí na materiálu, úpravě povrchu, oxidaci povrchu a platí:

$$\varepsilon = A_s = \frac{M_s}{M_c} = \frac{\varepsilon \cdot \sigma_c \cdot T^4}{\sigma_c \cdot T^4} \quad (4.3)$$

Je to poměr mezi vyzařováním reálného tělesa a černého tělesa při stejné teplotě a může mít maximální hodnotu 1 (těleso v tomto případě odpovídá ideálnímu černému tělesu) a minimální hodnotu 0 (lesklé zrcadlo). Tělesa s emisivitou menší než 1 se nazývají šedá tělesa.

Většina organických, nabarvených nebo zoxidovaných povrchů má emisivitu blízkou hodnotě 0,95. Kovy s leštěným nebo lesklým povrchem mají emisivitu kolem 0,1. Infračervené teploměry to kompenzují nabídkou proměnných hodnot nastavení faktoru emisivity.

U reálných těles se ještě přihlíží k jejich průhlednosti a odrazivosti. U odrazivých materiálů dochází k měření nejen vlastního, ale i odraženého záření.



Obr. 4.4: Druhy záření spojené s měřeným objektem

$I$  - dopadající,  $R$  - odražené,  $T$  - procházející,  $E$  - emitované,  $A$  značí absorpci.



Čidlo přijímá krom záření emitovaného taky odražené záření a může také případně přijímat záření procházející. Tzn.  $E + R + T = 1$ . Pro pevná tělesa platí  $T = 0$ , pak:  $E = 1 - R$  a pro ideální černé těleso platí  $R = 0$ , takže  $E = 1$ .

### **Měření kovů**

Emisivita kovů závisí na vlnové délce a teplotě. Protože kovy často odrážejí dopadající záření, mívají nízkou emisivitu, která může způsobovat odchylné a nespolehlivé výsledky. V takovém případě je důležité zvolit přístroj, který měří infračervené záření při určité vlnové délce a v rozmezí určitého teplotního rozsahu, ve kterém kovy mají nejvyšší možnou emisivitu. U mnoha kovů chyba měření roste s vlnovou délkou, což znamená, že by se pro měření mělo použít co nejkratších vlnových délek.

## **5. TVÁŘENÍ LÁHVE**

Jelikož mezi stávajícím tvářecím strojem a indukčním ohřevem není komunikace, je v čelistech ramene č. 1 zabudován koncový vypínač. Jakmile se láhev nakulí do čelistí tohoto ramene, dojde k sepnutí koncového vypínače a tímto okamžikem začíná automatický cyklus pro tváření.

V rameni je láhev sevřena čelistmi a poté přemístěna do prostoru pro tváření, kde dochází k jejímu upnutí sklíčidlem. Upnutí sklíčidla je řešeno časovým spínačem. Jakmile dojde k nahlášení, že je láhev upnuta, čelisti ramene se rozevrou. Dosažení polohy rozevření čelistí signalizuje čidlo.

Než se začne sklíčidlo otáčet a suport se dá do pohybu (chod vpřed), vrací se rameno č. 1 do základní polohy. Posuv suportu je řešen hydromotorem.

### **Kování**

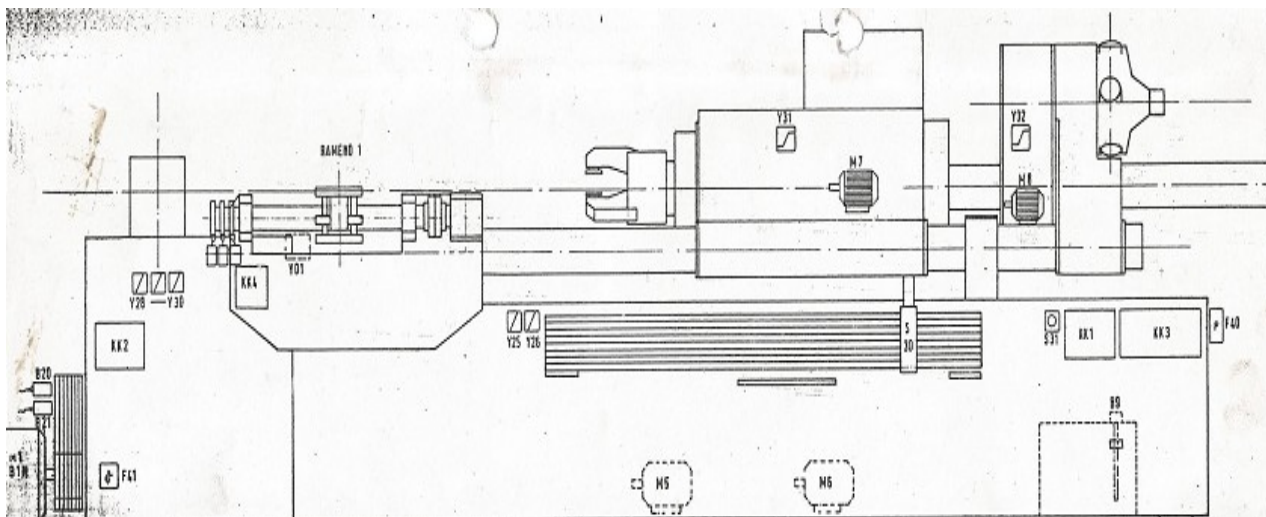
Kovátko pohání motor o výkonu 55 kW, jehož rozběh je řešen pomocí stykačů, tedy rozběh Y/D.

Motor pohání přes řemenici vačku, s kterou jsou spřaženy dvě pružiny, tj. pro každé kovátko je jedna pružina. Tímto způsobem dochází ke kmitání kovátek.

V místě, kde se otáčí vačka, se nachází dva snímače. Na základě hlášení prvního snímače je sepnut ventil pro brzdění otáčení sklíčidla. Druhý má za úkol spínat ventil brzdění posuvu. Aby nedocházelo k přehřívání, jsou tyto brzdy (brzdy synchronizovaného kování) chlazeny vzduchem. Poloha čidel, zajišťujících činnost brzdění, je nastavena tak, že sepnutí nastane v době, kdy se kovátko nachází v horní úvrati, tzn. stav kování.

Po dokončení tváření láhve se suport vrací zpět do určené polohy pro vyjímání a tam se zastaví.

Pro hotovou láhev se překlopí rameno č. 2 a svými čelistmi ji sevře. Následně je láhev ze sklíčidla uvolněna a rameno ji přemístí z prostoru tváření na odkládací rošt. Posledním krokem automatu je rozevření čelistí ramene č. 2.



Obr. 5.1: Schéma stávajícího stroje Usine de Wecker

**Popis jednotlivých elektrozařízení obr. 5.2:**

**Motory:**

- M 1 - motor kovátek
- M 5 - mazací čerpadlo
- M 6 - čerpadlo oleje
- M 7, 8 - čerpadla mazání tuku

**Propojovací rozvodnice:**

- KK 1 - pro motory M 5 až M 8
- KK 2 - čidla a ventily kovátek
- KK 3 - nárazkové řízení automatického chodu
- KK 4 - rameno č. 1

**Synchronizované kování:**

- Y 25, Y 26 - ventily sepnutí chladícího vzduchu  
na brzdy otáčení sklíčidla a posuvu suportu
- Y 31 - ventil brzdy otáčení sklíčidla
- Y 32 - ventil brzdy posuvu suportu
- B 20 - snímač pro brzdu otáčení sklíčidla
- B 21 - snímač pro zastavení posuvu suportu
- Y 28 - ventil sepnutí acetylenu
- Y 30 - ventil sepnutí kyslíku

**Senzory:**

- B 9 - hlídání hladiny olejové nádoby
- F 40 - hlídání tlaku oleje
- F 41 - hlídání teploty oleje
- S 31 - bezpečnostní tlačítko "totalstop"

**Ovládací pult**

Je určen k ovládání stroje v ručním režimu. Vyjímkou je tlačítko start automatu.



Obr. 5.2: Ovládací pult stávajícího stroje

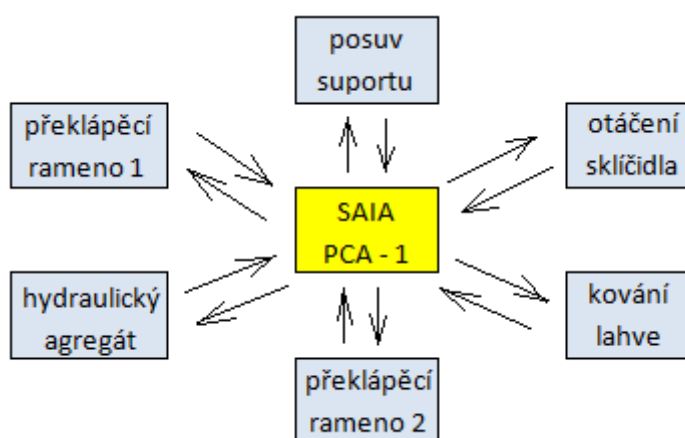
Obsluha zde zapíná chod hydraulického agregátu, motor kovátek, čerpadlo mazání lože suportu a přepíná funkce ruční/automat. V ručním režimu fungují: posuv suportu tam i zpět, otáčení sklíčidla, uvolnění a upnutí sklíčidla, pohyb ramene č. 1 a ramene č. 2, sevření a rozevření čelistí ramen. Jako signalizační kontrolky jsou použity: porucha přehřátí oleje, porucha kovátek.

### 5.1. Programovatelný automat SAIA - PCA 1[18]

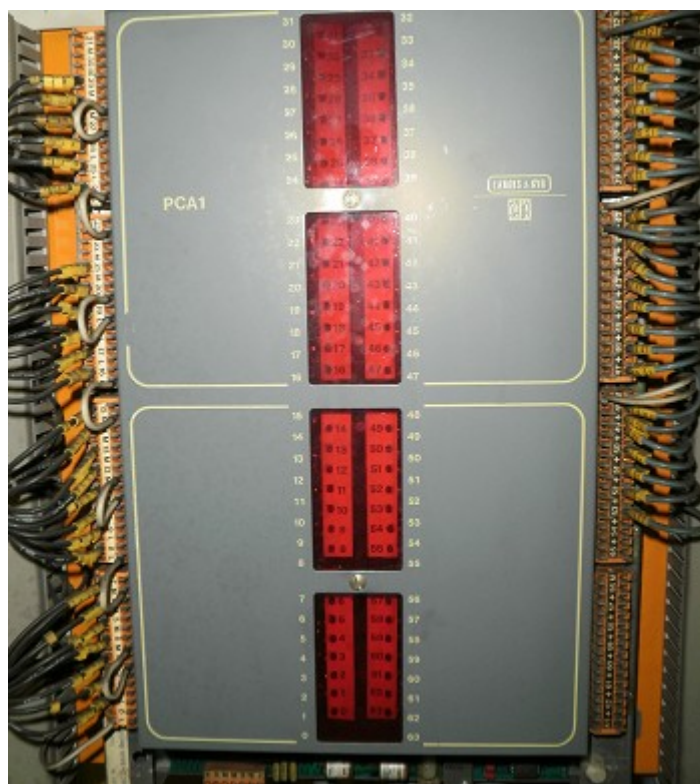
Chod stroje řídí automat PCA 1, který představila švýcarská firma SAIA-Burgess v roce 1979. Z výstupu tohoto automatu je napojena diodová matice. Diodová matice má 44 řádků a 22 sloupců. Program v automatickém režimu pracuje tak, že jakmile jsou splněny všechny podmínky (1 - 44) navolené v sloupci neboli kroku 1, přechází se ke kroku 2, pro který platí totéž. Tímto způsobem se dostaneme až ke kroku 20, kdy je ukončen pracovní cyklus (konec programu) tvářecího stroje. Tento pracovní cyklus je určen pro zpracování jedné lahve. V průběhu tohoto cyklu dochází k ohřevu další láhve.

Na diodové matici jsou signalizovány postupné kroky automatického cyklu pomocí kontrolky.

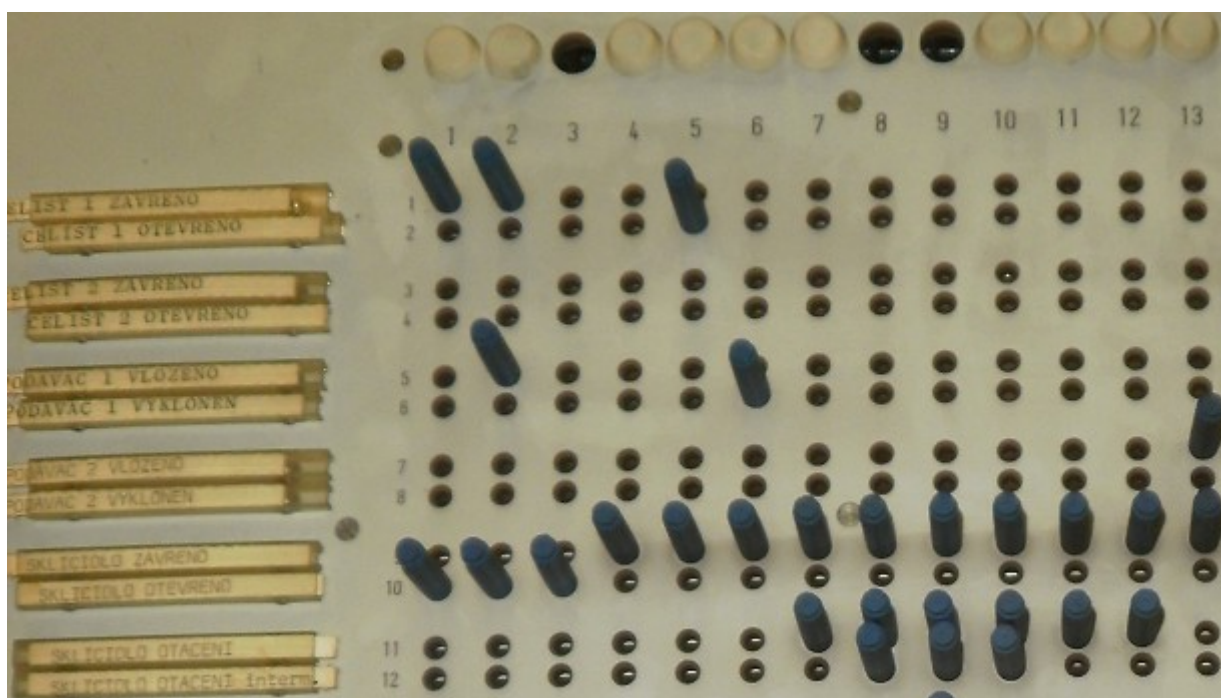
Že došlo ke splnění jednotlivých podmínek daného kroku, poznáme díky signalizaci kontrolky. Každá kontrolka je umístěna nad daným sloupcem, tedy krokem (viz. obr. 5.5: ).



Obr. 5.3: Blokové schéma řízení stávajícího tvářecího stroje



Obr. 5.4: Programovatelný automat SAIA - PCA 1



Obr. 5.5: Přiblížení fotografie diodové matice 22 x 44.

Funkce automatického chodu po krocích se volí zasunováním kolíků na této diodové matici. Na snímku je řádek č. 5 - 8 popsán jako podavač, ovšem v celé dokumentaci je uváděno rameno. Pro pořádek, rameno = podavač. Kompletní obrázek je umístěn v příloze diplomové práce.

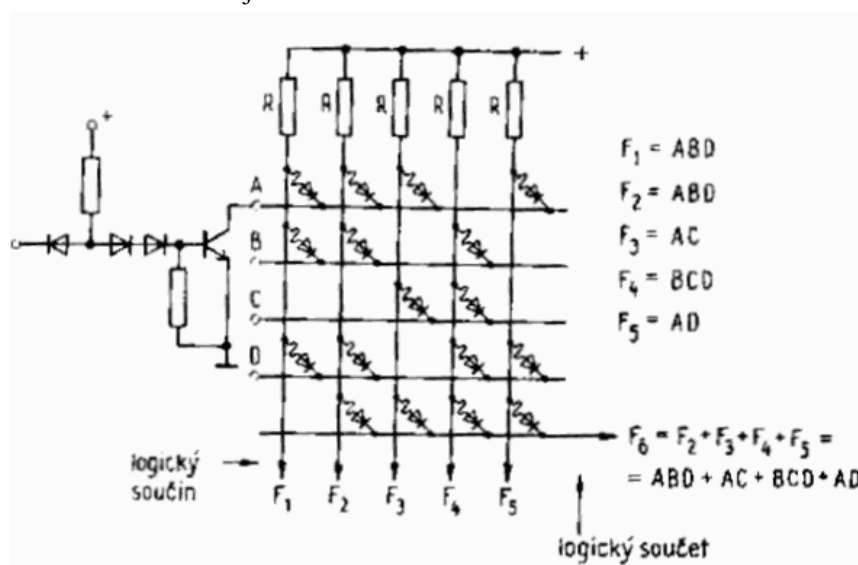
Tab. 5.1: Rozpis funkcí použitých v daných krocích diodové matice

Z předchozího obrázku 5.6. je patrné, že řádek č. 1 v tabulce, se týká zavření čelistí ramene č. 1. Pak následují čelisti ramene č. 2, překlápěcí ramena, sklíčidlo atd.

Program				Časové relé	
1	1	23	19	č. 1	0,2 x 10
2	5	24	16	č. 2	0,2 x 10
3	14	25	3	č. 3	0,7 x 10
4	18	26	7		
5	2	27	8		
6	6	28	9		
7	13	29	11		
8	17+19	30	12		
9	4→13	31	–		
10	1→3+15	32	5		
11	7→12	33	18		
12	8→10	34	2		
13	9	35	6		
14	8	36	13		
15	3+7	37	17		
16	–	38	19		
17	11	39	–		
18	12+16	40	1+14		
19	8→10	41	4+15		
20	8→11	42	10		
21	–	43	20		
22	8→13	44	–		

Př.: Řádek 22 je určen pro kování tlakové láhve. Kování tedy probíhá v krocích 8 až 13.

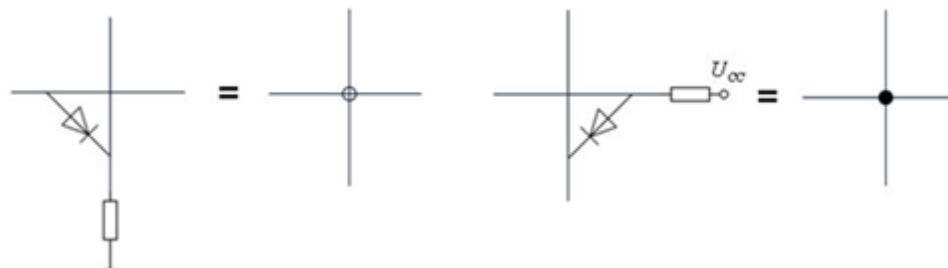
Časové relé č. 1 slouží k nahlášení otevření čelistí sklíčidla. Pro nahlášení sevření čelistí sklíčidla je relé č. 2. Časové relé č. 3 stanovuje dobu kování.



Obr. 5.6: Příklad použití diodové matice

Diodu lze v matici trvale odpojit, např. přivedením krátkodobého proudového impulsu do příslušného svislého a vodorovného vodiče, kterým se přetaví "tavná spojka". Takto lze využít diodové matice, které se vyrábějí v různých velikostech, spolu s externími odpory k realizaci požadované logické funkce.

Rozeznáváme dva druhy značení - prázdná a plná tečka. Každá z nich značí jinou logickou funkci.



Obr. 5.7: Význam teček v diodové matici

## 6. PROVOZ A ÚDRŽBA STROJE

Tvářecí stroj, jehož činnost při tváření lahve nebo akumulátoru je řešena rotačním kováním, je schopen udělat za směnu (7,5 hodinová pracovní doba) 300 ks těchto polotovárů. Výjimečně se zhotoví až 330 ks. Počet kusů se odvíjí od tloušťky stěny. Zařízení, v tomto aktuálním stavu, je určeno pouze pro omezený sortiment polotovárů. Původně se opracovávaly lahve či akumulátory od průměru 140 do 204. Nyní pouze průměry 140, 168, 171 a 178.

Tváření láhví se provádí tak, že tvářecí stroj zavírá lahve v hrdla nebo dna.

### Provoz stroje

#### Hydraulický agregát

Agregát pohánějí tři motory. Dva o výkonu 30 kW a jeden o výkonu 15 kW. Přes ventily je poslán tlak do dílčích částí tohoto stroje, které pak vykonávají onu potřebnou činnost. Jedná se o čelisti, sklíčidlo, pohyb ramen, chod suportu.

U tohoto zařízení se mění vlivem netěsnosti strojního zařízení ztvrdlá kabeláž, na níž olej působí.

#### Rotační kování

Funkce samotného kování již byla popsána v kapitole tváření lahve.

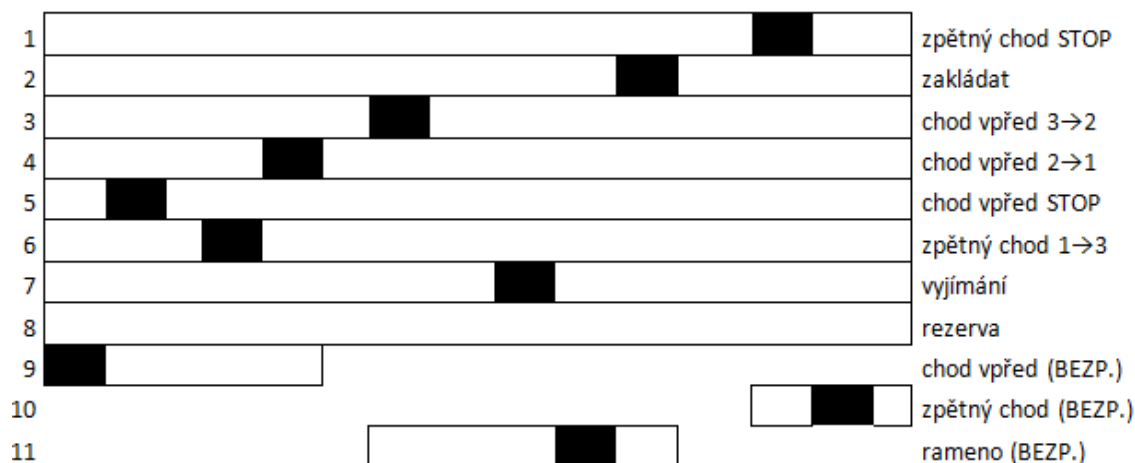
Jelikož kovátka nejsou schopny provést úplné zakončení dna akumulátoru, provádí se při kování ještě svařování plamenem vedoucím k úplnému zakončení dna. K tomu slouží spínač S42.

Nejprve je spínačem sepnut acetylen ( $C_2H_2$ ) a po odčasuování 0,5s dojde k sepnutí kyslíku.

#### Posuv suportu

Na boční straně stroje je napevno uchycena lišta s narážky. Narážky si obsluha stroje seřizuje podle délky polotovaru, kterého se tváření týká. Na suportu je upevněno rameno s koncovými vypínači, které při posuvu suportu na tyto narážky najíždějí. Takovýmto způsobem dochází ke spínání koncových vypínačů a následnému hlášení do systému, že je ten či onen krok splněný.





Obr. 6.1: Rozmístění narážek pro funkci chodu suportu

### Údržba stroje

Údržba je prováděna na základě knihy nazvané záznamník stroje, ve které je uvedeno, že kovací stroj se nazývá Usine de Wecker a má inventární číslo 38635.

V souladu s ustanoveními NAŘÍZENÍ VLÁDY č. 378/2001 Sb., kterým se stanoví bližší požadavky na bezpečný provoz a používání strojů, technických zařízení, přístrojů a nářadí (dále jen „zařízení“), musí být u těchto zařízení prováděny následné pravidelné kontroly a revize, nejméně jednou za 12 měsíců, nestanoví-li průvodní dokumentace nebo normové hodnoty rozsah a četnosti následných kontrol jinak.

Obsah záznamníku stroje byl vypracován na základě požadavků pro provoz, obsluhu a údržbu tvářecích strojů v souladu s ustanoveními článku 08 a článků P 13 až P 16 Přílohy ČSN 21 0700.

### *Do záznamníku stroje se provádí následující záznamy:*

Vypsát strojní části nebo zařízení, které je nutno z hlediska bezpečnosti práce pravidelně kontrolovat.

*Záznamové značky:*

- pro způsob kontroly stroje: CH - za chodu, KL - za klidu, DE - po demontáži části
- pro lhůty kontroly: D - denní, T – týdenní, M - měsíční, R - roční
- pro určení osob: O - obsluha stroje, S - strojní údržba, E – elektro údržba, M - mechanik

*Příklad zápisu:*

DE 3M S - demontáž, tříměsíční lhůta, strojní údržba

*Do přiložené tabulky se uvádí:*

Datum, kontrolovaná část, výsledek kontroly a kdo kontrolu provedl.

Plán preventivní 1433 stroje Kovací stroj-Usine RD 230/300				
Identifikační číslo stroje 1433 Kovací stroj-Usine RD 230/300      VÍTKOVICE CYLINDERS a.s, Provoz 1 – hala 4      inv. číslo:38635				
Poř. číslo	PREVENTIVNÍ ČINNOST	KDO PROVÁDÍ	ČETNOST KONTROLY	POSTUP DLE
1	Kontrola hladiny Demi vody ve vnitřním chladicím okruhu případné doplnění vody.	Obsluha	1x za den	Technická zpráva Z-01518 Strana: 4 /Článek 7
2	Kontrola mazacích rozvodů, rozvodů chladicí vody, oleje v hydraulickém systému.	Obsluha	1x za den	
3	Vizuální kontrola kabeláže a čidel	Obsluha	1x za den	
4	Kontrola dotážení přípojnice induktoru.	Obsluha	1x za týden	
5	Utáhnout šroubové spoje, svorky a hadicové spony	Strojní údržba	1x za měsíc	Návod pro provoz a údržbu Strana: 40 /Článek 3.1
6	Kontrola olejových filtrů	Strojní údržba	1x za 3 měsíce	
7	Kontrola klínových řemenů	Strojní údržba	1x za 3 měsíce	
8	Kontrola hydraulického systému	Strojní údržba	1x za 6 měsíců	
9	Kontrola chladicího okruhu	Strojní údržba	1x za 6 měsíců	
10	Kontrola pružin kovadel	Strojní údržba	1x za 6 měsíců	
11	Vyčištění filtru v případě vnější chladicí vody v měniči kmitočtu	Elektro údržba	1x za měsíc	Technická zpráva Z-01518 Strana: 4 /Článek 7
12	Vyměnit MIX-BED náplň ve filtru pro snižování vodivosti vody ve vnitřním okruhu	Elektro údržba	1x za 6 měsíců	
13	Vyměnit destilovanou vodu ve vnitřním chladicím okruhu	Elektro údržba	1x za 6 měsíců	
14	Celkově vyčistit vnitřek měniče kmitočtu	Elektro údržba	1x za rok	
15	Důsledná kontrola celého elektrického zařízení včetně hlavních kabeláží	Elektro údržba	1x za 2 roky	
Pozn.: Výsledek kontroly a případný způsob odstranění závady musí být zaznamenán v příslušném ZÁZNAMNÍKU STROJE.(v písemné nebo elektronické podobě).  Zpracoval: za 041      Jméno: František Vašíček Datum:      Podpis:  Schválil: 040-Výrobně technický ředitel      Jméno: Ing. Pavel Pawlas Datum:      Podpis:  Vyhotovení č.:				

Obr. 6.2: Přehled činnosti plánu preventivních kontrol

### 6.1. Rozbor spolehlivosti

Pro korektní posouzení spolehlivosti stroje byly použity poznatky z evidence poruch firmy, která má na starost údržbu firmy VÍTKOVICE CYLINDERS a.s. Byly pořízeny záznamy od roku 2006. Dřívější záznamy se zjistit nepodařilo.



Obr. 6.3: Evidence poruch firmy VI Servis s.r.o.

Zbývající část, tedy tabulka kde je uveden: datum, čas, porucha a její odstranění, jména osob kteří opravu provedli, je umístěna v příloze diplomové práce.

Tab. 6.1: Evidované elektro poruchy stroje za uvedené roky

rok	počet poruchových záznamů	interval řešení poruchy [dny]
2006	85	4,3
2007	38	9,6
2008	64	5,7
2009	89	4,1
2010	73	5
2011	91	4
2012	76	4,8

Z údajů uvedených v evidenci poruch je zřejmé, že na zařízení je delší dobu nefunkční ventil pro brzdění otáčení upínače. Mimo provoz je také kotoučová brzda. To znamená, že stroj nemá onu potřebnou synchronizaci. Dalším problémem jsou náhradní díly hydraulického agregátu, ohnutí lišty s posunovatelnými narážky, atd.

Opomenutí tedy mechanickou problematiku, které se tento výčet týkal a začnu u “spolehlivosti” elektro zařízení.

K programovatelnému automatu není a nebyl výpis programu. V případě poruchy tohoto zařízení, by došlo k delší prodlevě zastavení stroje. Firma SAIA-Burgess se sice specializuje na nové moderní automaty s označením PCD, ale ve firmě VÍTKOVICE CYLINDERS a.s. jsou téměř na všech strojích používané automaty firmy Siemens (SIMATIC S5, S7).

Dochází k časté výměně koncových vypínačů, způsobené mechanickými vřely tvářecího stroje. Je zrušen spínač S42, atd. Dnes, pokud je to jen možné, se upouští od mechanického spínání a přechází se ke spínání bezkontaktnímu (čidla). Nakonec bychom mohli komparovat výhody/nevýhody staré reléové techniky s moderní výzbrojí dnešních rozvaděčů.

Myslím si, že důvodů k provedení rekonstrukce a modernizace stávajícího zařízení je dostatek.

Ať už těch strojních či elektrických.

## 7. REKONSTRUKCE A MODERNIZACE STÁVAJÍCÍHO ZAŘÍZENÍ

Rekonstrukce se provádí z těchto důvodů:

- omezená výroba odlišných průměrů na stávajícím zařízení
- zastaralý programovatelný automat
- častá likvidace koncových vypínačů způsobená mechanickou problematikou
- ve velké míře nefunkčnost strojních součástí

Rekonstrukce je zaměřena na tvářecí stroj, čili netýká se indukčního ohřevu.

### ***Zadání:*** [13]

Navrhnete provedení kompletní předělovky tvářecího stroje. Stroj je součástí výrobní linky ocelových lahví, kde bude využit ke tváření hrdel ocelových láhví a den akumulátorů pro hydrauliku. Proto je požadována vysoká spolehlivost a minimální poruchovost pohonu.

Stroj pracuje ve třísměnném provozu.

Bude řízen PLC-Simatic, který bude řídit celé pracoviště tvářecího stroje.

### **Poznámka:**

V současné době provozujeme obdobný tvářecí stroj. Pohon je realizován stejnosměrným motorem typ SIEMENS 1GG-166,  $P_n=79,5$  kW,  $n_n = 1580$  ot./min. Motor je napájen řízeným usměrňovačem typu SIMOREG 6RA2475-6DV62.

Strojní dokumentaci tvářecího stroje zpracovala PaK NS 301 akciové společnosti Vítkovice. Archivní číslo 4-SS-00135.

### ***Technické údaje uvedené v technické zprávě výše uvedené dokumentace:***

Výkon elektromotoru vřeteníku	79,5 kW
Vstupní otáčky	$n_1 = 1580 \text{ min}^{-1}$
Výstupní otáčky	$n_2 = 705 \text{ min}^{-1}$
Výstupní krouticí moment	$M_K = 1032 \text{ Nm}$
Přítlačná síla koníku	175 kN při tlaku 16 Mpa
Průměry polotovarů láhví	$\phi 140$ až $\phi 236$ mm
Maximální délka polotovaru	1850 mm
Minimální délka polotovaru	500 mm
Maximální hmotnost polotovaru	120 kg
Doba tváření hrdla klasické láhve	4s (tj. tloušťka stěny cca 6 mm, $\phi 229$ , hmotnost cca 70kg)

### ***Napájení indukčního ohřevu***

Je provedeno třemi kabely AYKY 3x240+120 z rozvodny R5/VIII, z rozvaděče RM 2, pole 3. Jištění je jističem BL1600S se jmenovitým proudem 1000 A.

### ***Napájení tvářecího stroje***

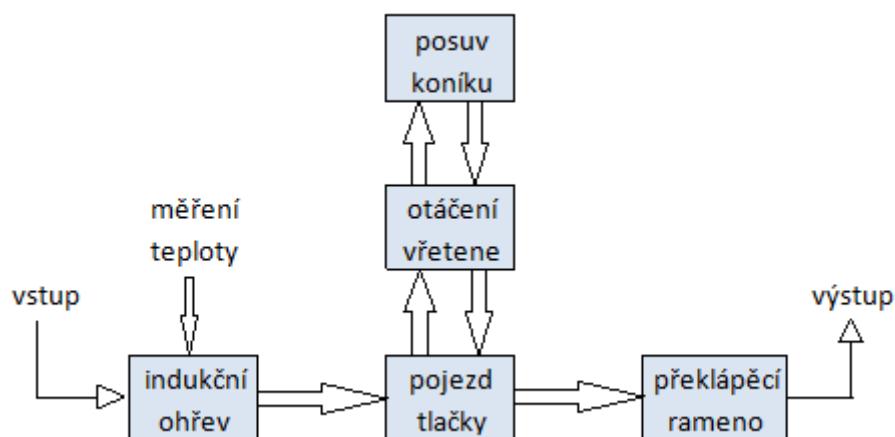
Zařízení je napojeno ze stejné rozvodny jako indukční ohřev, z rozvaděče RM 4, pole 5. Jištění jističem BL1000S se jmenovitým proudem 315 A. Napojení je provedeno kabelem AYKY 3x150+70.

Napájecí napěťová soustava je 3PEN~50Hz, 230/400V TN-C. Ochrana před úrazem elektrickým proudem je dle ČSN 33 2000-4-41 samočinným odpojením od zdroje.

Z rozvaděče hlavního pohonu je napájen rozvaděč pro řízení a ovládání ostatních částí tvářecího stroje. Tento rozvaděč, jehož vstupní jištění je řešeno odpojovačem s pojistky 80 A má: Instalovaný výkon 30 kW, jmenovitý proud je 50 A, maximální provozní proud 60 A. Hodnota výkonu největšího spotřebiče je 15 kW. Jedná se o motor hydraulického agregátu s rozběhem Y/D. Ovládací napětí 24 V DC je použito pro napájení CPU, OP, měniče, vstupů (čidel), výstupů ze Simaticu (cívky relé) a snímače teploty. Ovládací napětí 230 V AC pro napájení výstupů mechaniky (konektory ventilů).

Výkresová dokumentace tohoto rozvaděče byla zhotovena firmou COMPAS automatizace s.r.o. Zapojení a ovládání rozvaděče hlavního pohonu včetně je dílem naší firmy.

### 7.1. Popis chodu stroje



Obr. 7.1: Blokové schéma pracovního cyklu zrekonstruovaného zařízení

Elektrické zařízení je určeno k ovládání pracoviště tvářecího stroje s hydraulickým pohonem. Hydraulický pohon slouží pro ovládání vlastního tváření. Stroj může pracovat v režimu seřizování (ruční režim) nebo automat.

#### **Popis automatického chodu**

Start cyklů automatického chodu stroje je možný v případě, jsou-li všechna zařízení ve výchozí poloze a jsou-li splněny podmínky pro chod cyklu. Láhev ze vstupního nakulovacího roštu je překlápěna na rošt před indukčním ohřevem za předpokladu, že je toto místo uvolněné. Po dosažení druhé polohy se zasouvá láhev do induktoru. Při dosažení polohy v induktoru se vypne pohyb vpřed a roztočí se rolky. Láhev se za stálého otáčení na rolkách ohřívá. Při dosažení teploty přijde signál z indukčního ohřevu, že je ohřev lahve OK. Po tomto signálu, nebo po stisku tlačítka S513 se sepne ventil pro tlačku z induktoru a vypne se rotace rolek. Po vysunutí na koncový spínač se pohyb vypne. Poté dojde k vyhození lahve na tlačku, která ji zatlačí do vřeteníku.

Dosažením koncové polohy tlačky dojde k upnutí lahve ve vřeteníku. Je-li láhev upnuta, vřeteník se otáčí do tvářecí polohy, a zároveň následuje roztočení vřetene hlavním pohonem. V tvářecí poloze dochází k jejímu zaaretování. Pak následuje pohyb koníku vpřed, to znamená, že se začíná láhev tvářet. Po dokončení tváření, tedy při dosažení polohy vpředu je uvolněna láhev ve vřeteníku na čas zadaný z displeje a spuštěn pohyb koníku vzad. Po opětovném upnutí lahve a dosažení polohy koníku vzadu je otočen vřeteník do základní polohy. V této poloze je láhev sevřena čelistmi tlačky a poté uvolněna ve vřeteníku.

Po uvolnění je sepnut pohyb tlačky do výchozí polohy. Při dosažení polohy pro uvolnění čelistí pustí čelisti láhev a tlačka dojde do výchozí polohy. Poté je sepnut ventil pro vyhazovač k překlápěcímu rameni. Láhev je sevřena palcem ramene a přenesena na výstupní rošt. Nakonec se rameno vrací do výchozí polohy.

#### ***Stop automatického chodu***

Stiskem tlačítka stop se přeruší podávání dalších lahví do indukčního ohřevu a dokončí se všechny operace s lahvemi v cyklech, které začaly. Další start cyklu je povolen až po ukončení všech operací předchozího cyklu.

#### ***Poruchy***

Nastane-li některá z diagnostikovaných poruch, začne blikat kontrolka na ovládacím pultu. Po odkvitování poruchy blikat přestane. Pokud některá z poruch trvá nadále, kontrolka svítí. Aktivní poruchy, můžeme prohlížet na operátorském panelu. Držíme-li tlačítko déle než dvě sekundy je odstartován lamp-test (všechny kontrolky začnou blikat).

#### **Ovládací pult**

Obsahuje ovladače a signálky pro ovládání všech součástí stroje v ručním režimu. Zapíná se zde chod hydraulického agregátu a obsahuje operační panel pro zadávání a zobrazování technologických veličin a poruchových hlášení.

#### **OP 17**

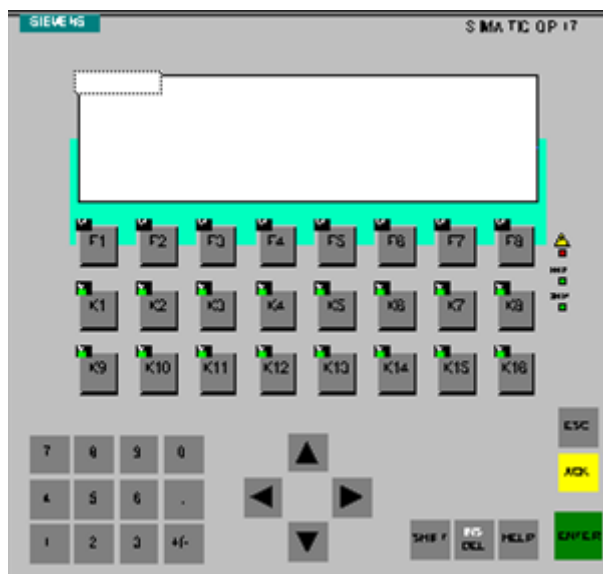
Operátorských panelů včetně těch dotykových jsou celé řady. Pro daný tvářecí stroj byl zvolen OP 17, který je pro účely stroje plně dostačující. Vzhledem k prostředí a také činnosti, kterou obsluha provádí je např. dotykový panel nevhodný.

Operátorský panel slouží k zobrazování dat a jejich zadávání. Na displeji lze prohlížet stav snímačů a akčních členů, je zde zobrazena volba co budeme ovládat funkčními tlačítky. Paměť poruch lze otevřít stiskem klávesy F6 na displeji a poté prohlížet šipkami nahoru a dolů.

Umožňuje tedy vizualizaci provozních stavů, aktuálních procesních hodnot a poruch připojeného programovatelného automatu (PLC). K realizaci projektu pro PLC slouží Simatic Manager. Na vizualizaci se používá program ProTool/Lite, což je konfigurační programovací software pro operátorské panely rodiny SIMATIC HMI. Samotný projekt je uložen spolu s projektem v programu STEP 7.



Obr. 7.2: Provedení ovládacího pultu



Obr. 7.3: Operátorský panel OP17

*Popis systémové klávesnice:* [13]

+/- - slouží ke změně znaménka čísla.

**ACK** – je klávesa pro potvrzení hlášení. Stiskem této klávesy obsluha potvrdí poruchové hlášení, které je signalizováno blikající červenou LED diodou u trojúhelníku s vykřičníkem. Při poruše se otevře obrazovka, která obsahuje číslo poruchy a zařízení na kterém porucha nastala se stručným popisem. Podrobnější informace i s radou jak poruchu odstranit vyvoláme stiskem klávesy **HELP**.

**ENTER** - klávesa slouží pro potvrzení změny dat

**ESC** - slouží k opuštění menu bez změny hodnoty

**SHIFT** - stiskem klávesy se vybírají bílé funkce kláves

**ŠÍPKY** - posun kurzoru po jednotlivých řádcích a proměnných

**F1-F8, K1-K16** - funkční klávesy

## 7.2. Simatic S7 300

V případě našeho projektu byl použit jako náhrada za programovatelný automat SAIA - PCA 1 tento průmyslový řídicí systém, který je nejprodávanějším z široké nabídky firmy Siemens AG. Je určen pro realizaci rozmanitých automatizačních úloh středního rozsahu. Poskytuje univerzální automatizační platformu pro systémová řešení s hlavním důrazem na výrobní technologii.

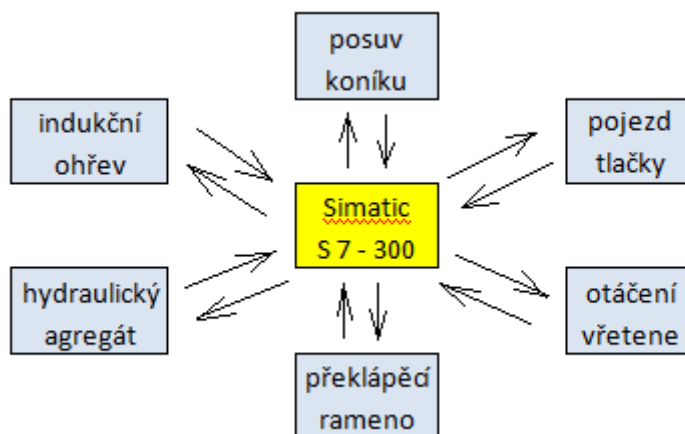
Je to modulární volně programovatelný automat. Programovací software STEP 7 je vývojové prostředí pro SIMATIC, a jako systémový software používá Microsoft Windows. Při programování bloků můžeme použít jazyk FBD (schéma složené z funkcí), STL (jazyk podobný assembleru) nebo LAD (znázornění je podobné liniovému schématu).

Nejčastěji používané moduly jsou:

- digitální vstupní moduly 24V DC
- digitální výstupní moduly 24V DC
- analogové vstupní moduly – napětí, proud, odpor, termočlánek
- analogové výstupní moduly – napětí, proud
- interfacové moduly – slouží k propojení sběrnic
- funkční moduly – zajišťují funkce jako „počítání“, pozicování, regulace PID

Možnost propojení do sítě Multipoint interface (MPI), Profibus, Ethernet.

Tento automat komunikuje s veškerými částmi stroje. Do jeho vstupních karet přichází hlášení od čidel poloh, teplotních a tlakových senzorů atd. Z výstupních karet jsou pak napojeny relé a z nich konektory ventilů pro hydraulickou činnost, zařízení ovládaná vzduchem a elektricky ovládaná zařízení jako je např. motor pojezdu tlačky, motor rotace rolek.



Obr. 7.4: Blokové schéma řízení tvářecího stroje

#### Pojezd tlačky

Tlačku pohání třífázový asynchronní motor o výkonu 750W. Na konstrukci této tlačky jsou upevněné dvě čidla. Jedno hlásí čelisti tlačky otevřít a druhé, že je láhev zasunuta ve vřeteníku. Pro napájení čidel je použit speciální kabel určený k odolnosti vůči mechanickému namáhání a vysokým teplotám.

#### Hydraulický agregát

Hydraulický agregát ovládá ty části stroje, jejichž pohyb je hydraulicky závislý. Na agregátu jsou nainstalovány prvky sloužící pro primární i sekundární funkce stroje. Primární posílají hlášení do Simaticu S7 300. Na základě tohoto hlášení je z automatu vyslán povel, zda se může daná funkce provést.

*Mezi primární funkce řadíme:*

Hlídaní teploty olejové nádoby, hlídání hladiny olejové nádoby. Dále to mohou být tlakové spínače určené k hlášení např. sevření čelistí vřetene.

*Mezi sekundární funkce řadíme:*

Konektory ventilů, které ovládají např. posuv koníku, pohyb překlápěcího ramene, otvírání/svírání čelistí vřetene a další funkce.

Pro nový tvářecí stroj byl zvolen zcela odlišný typ agregátu, než tomu bylo u stávajícího stroje.

Na hydraulickém agregátu došlo ke kompletní výměně kabeláže, která byla vlivem působení oleje značně ztvrdlá. Pro přehlednost došlo také k výměně konektorů. Byly dodány konektory s letkou pro rychlou vizualizaci.

### Posuv koníku

Posuv koníku je řešen hydraulicky. Co se týká vybavení elektro zařízení, jsou zde umístěny dvě čidla pro signalizaci základní a tvářecí polohy. Mazání koníku provádí mazací agregát poháněný motorem o výkonu 550W.

### Pohyb překlápěcího ramene

Na rameni jsou upevněné čtyři čidla. Dvě simaticu sdělují, že je rameno buď v základní, nebo pracovní poloze. Další dvě potom hlásí zavření a otevření čelistí (dle výkresové dokumentace je čelist nazvaná palec) ramene.

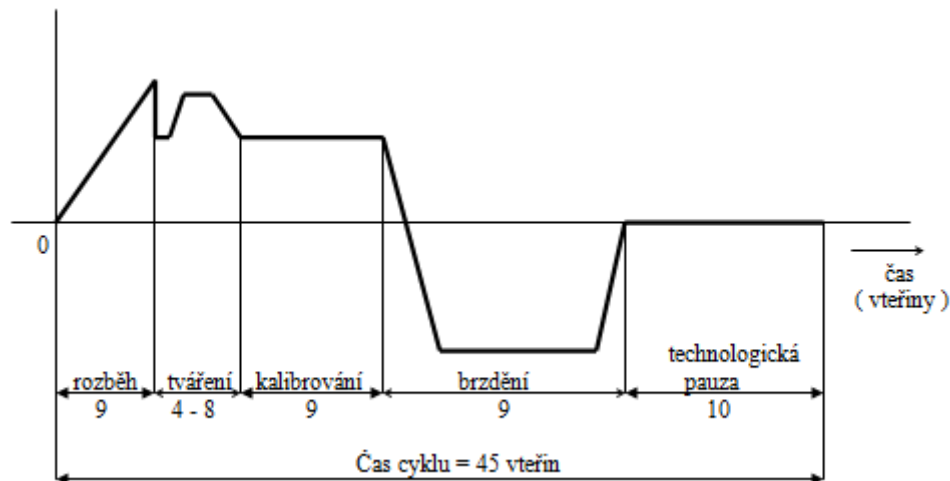
## 7.3. Otáčky vřetene

*Pro volbu typu servopohonu je celá řada pohonů: [11]*

Pohon se stejnosměrným motorem, pohon s elektronicky komutovaným motorem (bezkartáčovým stejnosměrným motorem), pohon se synchronním motorem s permanentními magnety na rotoru, pohon s asynchronním motorem a pohony s krokovými motory různého konstrukčního provedení. Všechny tyto vyjmenované motory jsou v servopohonech napájeny z výkonových tranzistorových měničů, pouze stejnosměrné motory bývají napájeny i z měničů tyristorových.

Dimenzování servopohonů vychází z výpočtu statických a dynamických zatěžovacích momentů a jeho cílem je určení typové velikosti motorů a přiřadit k nim příslušné měniče, zpravidla podle požadavku proudové přetížitelnosti.

Otáčky vřetene jsou řešeny stejnosměrným motorem s cizím buzením, který je řízen měničem Simoreg 6RA70.



Obr. 7.5: Graf pracovního cyklu motoru vřetene

### 7.3.1. DC motor

Základní části motoru jsou kotva neboli rotor (má vinutí uložené v drážkách), stator (má na hlavních pólech umístěné budící a kompenzační vinutí, a má i pomocné póly pro zlepšení komutačních vlastností stroje), sběrné ústrojí (tvoří jej komutátor a kartáče). Kartáče zkratují cívky v době komutace a také vyrovnávají rozdíly mezi reaktančním a komutačním napětím.

Vlastnosti stejnosměrných strojů: [4]

- jednoduchá otáčková regulace (napětím kotvy a budícím proudem),
- velký krouticí moment při malých otáčkách,
- snadná přizpůsobivost zatěžovacích charakteristik pohaněnému zařízení,
- poměrně velká výkonová i momentová přetížitelnost.

### **Regulace otáček**

Regulaci DC motoru kotevním napětím můžeme použít od nulových do jmenovitých otáček, kdy je motor schopen vyvíjet konstantní jmenovitý moment, takže výkon motoru roste lineárně s rychlostí od nuly až na jmenovitou hodnotu. Další zvyšování otáček je možné odbuzováním, při konstantním kotevním napětí a výkonu. Zvyšovat můžeme za předpokladu, že nepřekročíme velikosti hodnoty reaktančního napětí. Při zvyšování otáček je nutné snižovat kotevní proud. Tím klesá výkon i moment motoru. Pro regulaci otáček platí:

$$n = \frac{U_i}{N_v \cdot \frac{p}{a} \cdot \phi_0} = \frac{U_i}{k \cdot \phi_0} \quad (7.1)$$

$N_v$  je celkový počet vodičů kotevního vinutí, které jsou rovnoměrně rozděleny do  $a$  paralelních větví,  $k$  tedy značí konstrukční konstantu stroje,  $\phi_0$  je magnetický tok jednoho pólu vstupujícího do kotvy a  $U_i$  je napájecí napětí kotvy.

### **Dělení DC motorů**

Podle způsobu napájení budícího vinutí umístěného na hlavních pólech:

1. s cizím buzením - vinutí hlavních pólů je napájeno z nezávislého stejnosměrného zdroje, nebo má stroj permanentní magnety.
2. s derivačním buzením
3. se sériovým buzením
4. s kompaundním (smíšeným) buzením

#### **7.3.1.1. Motor s cizím buzením**

Má oddělené napájení obvodu buzení a obvodu kotvy. Mohou být na stejné nebo odlišné velikosti napětí. Budící vinutí není galvanicky oddělené od kotvy. Obvody jsou napájeny z řízených usměrňovačů zabudovaných do jedné jednotky.

K výhodám patří zvláště výhodné regulační vlastnosti a malá závislost otáček na zatížení, velké rozpětí výkonů a velký moment. Nevýhodou je komutace, která způsobuje omezení rychlosti a nutnost samostatného napájecího zdroje pro buzení.

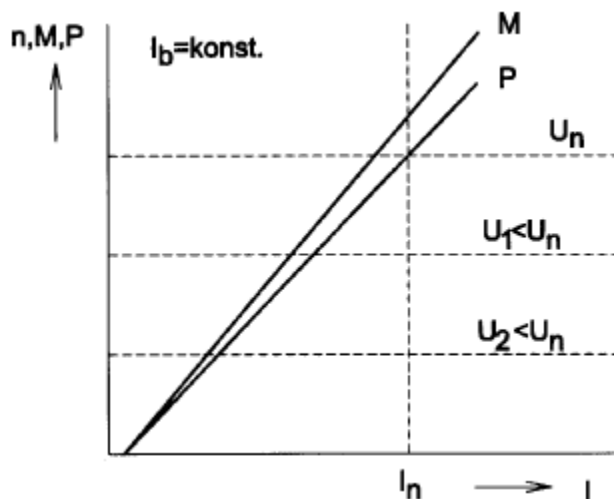
Rozběh motoru napojeného z usměrňovače na jmenovité otáčky funguje tak, že nabudíme motor na jmenovitý budící proud a postupně zvyšujeme napětí kotvy až do jeho jmenovité hodnoty.

### **Buzení motoru**

Při zapínání motoru s cizím buzením je nutné před připojením kotevního napětí nejprve motor nabudit na jmenovitou hodnotu budícího proudu. Je třeba dávat pozor při odpínání budícího vinutí od sítě. Magnetická energie nahromaděná v tomto vinutí by se při rozpojení budícího obvodu



nemohla uvolnit a vzniklo by velké přepětí v budícím obvodu, které by mohlo poškodit nejen budící vinutí, ale zvláště napájecí zdroj. Proto je nutné buď k tomuto vinutí paralelně připojit vybíjecí odpor, nebo uzpůsobit postup vypínání motoru tak, že vypneme kotvu, odbudíme motor a pak teprve odepneme budící vinutí.

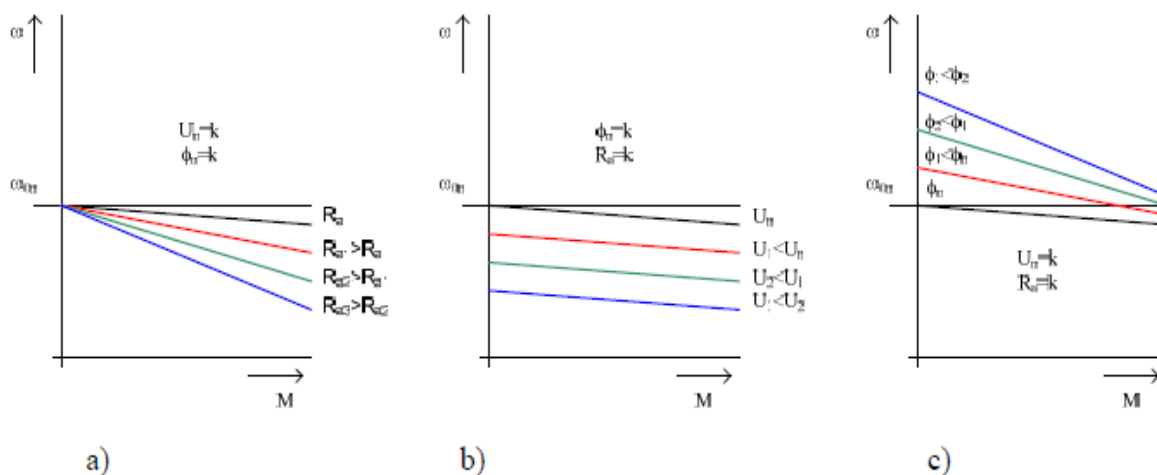


Obr. 7.6: Otáčková charakteristika motoru s cizím buzením [4]

Udává závislost otáček na zatěžovacím proudu nebo i momentu. Je zde nakreslen průběh výkonu motoru a krouticího momentu na hřídeli. Obě přímky se rozcházejí vlivem poklesu otáček.

V závislosti na otáčkách se u motorů uvádí proudová i momentová přetížitelnost. Např. při jmenovitých otáčkách je přetížitelnost 2,5 až 3 násobná, při maximálních pouze 1 – 1,8 násobná.

### ***Možnosti regulace otáček***



Obr. 7.7: Mechanické charakteristiky řízení rychlosti DC motoru s cizím buzením

a) odporem (vnějším odporem), b) napětím zdroje, c) magnetickým tokem

#### ***a) Změnou odporu v obvodu kotvy***

Zařazením přídavného odporu do obvodu kotvy. Na tomto odporu vznikají trvale ztráty. Tento způsob řízení rychlosti je neekonomický. Dá se použít u motorů velmi malých výkonů, nebo pro rozběh motoru.

#### *b) Napětím zdroje*

Změnou napětí zdroje měníme velikost rychlosti naprázdno, na velikost úbytku rychlosti nemá tato změna vliv.

#### *c) Magnetickým tokem*

Pouze u motorů s cizím buzením, prostřednictvím budicího napětí. Změnou magnetického toku měníme velikost rychlosti naprázdno i velikost úbytku rychlosti, to znamená, že charakteristiky jsou při odbuzování měkčí než při řízení rychlosti napětím.

### **Brzdění motoru**

#### *Generátorické (rekuperační)*

Spočívá v převedení motoru z motorického režimu do generátorického, přičemž je nutné překročit rychlost naprázdno. To lze buď aktivním zatížením motoru, nebo snížením napájecího napětí.

V případě řízeného usměrňovače je nutné, aby tyristorový měnič byl proveden jako dvou-měničový reverzační, tj. umožňující oba směry proudu.

#### *Odporové*

Kotva motoru se při brzdění do odporu odpojí od zdroje a připojí na vnější odpor. Buzení zůstává konstantní. V průběhu brzdění klesá indukované napětí a brzdný moment. K udržení velikosti momentu je nutné vyřazovat vnější odpor. V oblasti malých rychlostí je hodnota brzdného momentu malá.

#### *Protisměrné (protiproudé)*

Spočívá v přepólování napětí na kotvě. Tomuto stavu odpovídají velké proudy a momenty, proto se současně zařazuje do kotvy velký přídavný odpor k omezení proudového a momentového rázu. V důsledku zařazení tohoto odporu klesá s rychlostí brzdý moment, ale postupným vyřazováním přídavného odporu jej můžeme zvětšit. V klidu motor vyvíjí moment, který by způsobil rozběh v protisměru, takže kotvu odpojujeme od zdroje v blízkosti nulové rychlosti (lze provést odstředivým spínačem nebo hlídačem brzdění).

### **Výpočet:**

Požadavek provozu byl, aby otáčky motoru dosahovaly maximální rychlost cca 75 % jeho jmenovité hodnoty. Tedy:

$$\frac{100}{75} = 1,33333 \rightarrow \frac{1580}{1,3333} = 1185 \text{ ot/min} \Rightarrow U_a \cong 315V \Rightarrow P_n \cong 59,6 \text{ kW}$$

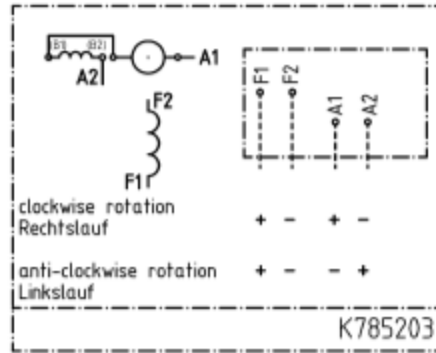
Mezi motorem a pohaněným zařízením je ještě mechanický převod, jehož spojení je řešeno pomocí pevné spojky, upevněné na hřídeli motoru.

### **Hodnoty na štítku použitého motoru:**

Jedná se o motor patkový s cizí ventilací, s typovým označením 1GG6166 – OJG – 6VV5 - Z

35 - 420 V, 208 A, 10 - 1580 ot/min, 0,51...79,5 kW

420 V, 208 A, 1580 - 1820 ot/min, 79,5 kW



Obr. 7.8: Schéma zapojení svorkovnice motoru

$$P_n = 59,6 \text{ kW} \quad U_a = 315 \text{ V} \quad I_n = 208 \text{ A} \quad n_n = 1185 \text{ ot/min} \quad R_{a,cold} = 0,221 \Omega$$

### 1. Mechanická charakteristika při brzdění pohonu do odporu při hodnotě brzděného odporu $2 \Omega$ :

$$U_a = U_i + R_a \cdot I_a = c \cdot \phi \cdot \omega + R_a \cdot I_a \quad M_m = c \cdot \phi \cdot I_a$$

Napěťová rovnice bude mít tvar:

$$0 = c \cdot \phi \cdot \omega + (R_a + R_b) \cdot I_a = c \cdot \phi \cdot \omega + \frac{(R_a + R_b)}{c \cdot \phi} \cdot M_b$$

Rovnice mechanické charakteristiky:

$$\omega = -\frac{(R_a + R_b)}{(c \cdot \phi)^2} \cdot M_b = -\frac{(1,2 \cdot 0,221 + 2)}{2,8^2} \cdot M_b = -\frac{2,2652}{7,84} \cdot M_b = -0,289 \cdot M_b$$

$$c \cdot \phi_n = \frac{U_a - 1,2 \cdot R_{a,cold} \cdot I_n}{\omega_n} = \frac{315 - 1,2 \cdot 0,221 \cdot 208}{\pi \cdot 1185} \cdot 30 = \frac{259,838}{3722,787} \cdot 30 = 2,09 \text{ Vs}$$

$$\omega_n = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} = \frac{\pi \cdot 1185}{30} = 124,1 \text{ s}^{-1}$$

Rychlost motoru, při které bude mít motor hodnotu brzděného momentu:

$$+M_b = -M_n \rightarrow \omega_1 = +0,289 \cdot M_n$$

$$\omega_1 = +0,289 \cdot \frac{P_n}{\omega_n} = 0,289 \cdot \frac{59,6 \cdot 10^3}{124,1} = 0,289 \cdot 480,47 = 138,85 \text{ s}^{-1}$$

$$M_b = \frac{138,85}{0,289} = 480,45 \text{ Nm}$$

### 2. Určení velikost brzděného odporu:

$$R_b = -\frac{(c \phi)^2 \cdot \omega_n}{M_b} - R_a = \frac{2,8^2 \cdot 124,1}{480,45} - 1,2 \cdot 0,221 = 2,02 - 0,2652 = 1,76 \Omega$$

### 3. Mechanická charakteristika při brzdění pohonu protiproudem při hodnotě předřadného odporu v obvodu kotvy $5 \Omega$ :

Napětí rovnice bude mít tvar:

$$-U_a = c \cdot \phi \cdot \omega + \frac{(R_a + R_p)}{c \cdot \phi} \cdot M_b$$

Rovnice mechanické charakteristiky:

$$\omega = -\frac{U_a}{c \cdot \phi} - \frac{R_a + R_p}{(c \cdot \phi)^2} \cdot M_b = -(\omega_0 + \frac{R_a + R_p}{(c \cdot \phi)^2} \cdot M_b)$$

$$\omega = -\frac{315}{2,8} - \frac{1,2 \cdot 0,221 + 5}{2,8^2} \cdot M_b = -112,5 - 0,67 \cdot M_b$$

### 4. Z mechanické charakteristiky je velikost předřadného odporu:

$$R_p = -\frac{(c \phi)^2 \cdot (\omega_n + \omega)}{M_b} - R_a = \frac{2,8^2 \cdot (124,1 + 112,5)}{480,45} - 1,2 \cdot 0,221 = 3,86 - 0,2652 = 3,6 \Omega$$

### 5. Určení hodnoty brzděného momentu při generátorickém brzdění, při rychlosti otáčení

$\omega = \omega_n$  a napětí  $U_a = 0,85 \cdot U_{an}$ :

$$\omega = \frac{U_a}{c \cdot \phi} - \frac{R_a \cdot M_b}{(c \cdot \phi)^2}$$

$$M_b = (\omega - \omega_n) \cdot \frac{(c \cdot \phi)^2}{R_a} = (0,85 \cdot 112,5 - 124,1) \cdot \frac{2,8^2}{1,2 \cdot 0,221} = -28,475 \cdot 29,563 = -841,8 Nm$$

**Brzdění motoru na tvářecím stroji je prováděno protiproudem.**

#### 7.3.2. Stejnoseměrný měnič

Měnič Simoreg 6RA70 patří do řady mikroprocesorem řízených usměrňovačů DC Master a je moderním digitálním pohonářským produktem firmy Siemens.

Představuje stejnosměrné měniče v jednokvadrantovém nebo čtyřkvadrantovém zapojení pro trojfázové vstupní napájecí napětí od 400 do 830 V AC, proudy 15 - 2 000 A, výkony od 6 kW do 1900 kW. Buzení je možné napájet proudy až 40A (stupňovitost je závislá na jmenovitém stejnosměrném proudu kotvy). Stejnoseměrný měnič 1q většinou neumí brzdit, 4q brzdit umí.

Střídač je napájen ze stejnosměrného meziobvodu. Při brzdění energii vrací do stejnosměrného meziobvodu.

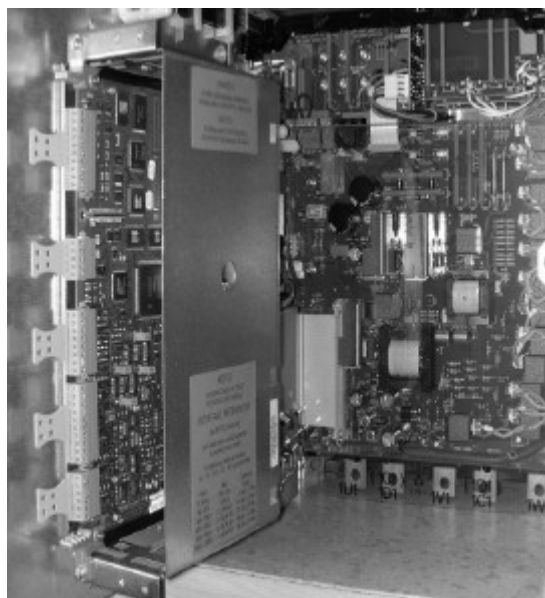
Jedná se o plně řízený usměrňovač se dvěma polovodičovými výkonovými jednotkami. První jednotka je rekuperační. Ta je tvořená dvěma antiparalelně spojenými můstky. Toto uspořádání umožňuje měnič pracovat ve všech čtyřech kvadrantech pracovního diagramu. Měnič je provozován bez okružových proudů a obsahuje logiku, která vždy blokuje jeden usměrňovačový

můstek, zatímco druhý pracuje. Pro usměrnění budicího proudu je měnič vybaven polořízeným můstkovým usměrňovačem. Důležitou součástí měniče je parametrizační jednotka, která umožňuje nastavit nepřeberné množství funkcí pro řízení a ochranu připojeného pohonu.

Měnič, primárně určený pro napájení stejnosměrných pohonů, nabízí řadu nadstandardních funkcí. Jednou z nich je omezení proudu kotvy motoru v závislosti na otáčkách. Tato funkce je zvláště výhodná v režimu, kdy je motor odbuzován a pracuje při otáčkách vyšších, než jsou jmenovité.

Parametrizaci se nastaví hodnota otáček, od které se proud kotvy začne hyperbolicky snižovat a ochrání tím komutátor a kartáče motoru před poškozením. Pro různé režimy zrychlování, zpomalování či např. velmi pomalého pojezdu slouží generátor rampy. Měnič nabízí celou řadu ochran, např. ochranu proti přetížení, derivační ochranu  $dv/dt$ , SCR ochranu polovodičových pojistek nebo ochranu proti ztrátě proudu v budicím obvodu, která zabraňuje úplnému odbuzení motoru a následnému extrémnímu nárůstu otáček.

Za zmínku stojí kontrola oteplení motoru nejen přímým připojením termočlánku, ale i výpočtem pomocí funkce *I<sup>2</sup>t monitoring*.



Obr. 7.9: Provedení elektroniky měniče SIMOREG 6RA70

***Prvky proudové smyčky:***

*Převodník* - z naměřené aktuální hodnoty proudu určuje momentotvornou složku proudu (u DC měničů je to přímo proud).

*PI regulátor proudu* - z něho už vystupuje požadovaný spínací úhel (tyristorově řízený usměrňovač)

***Prvky otáčkové smyčky:***

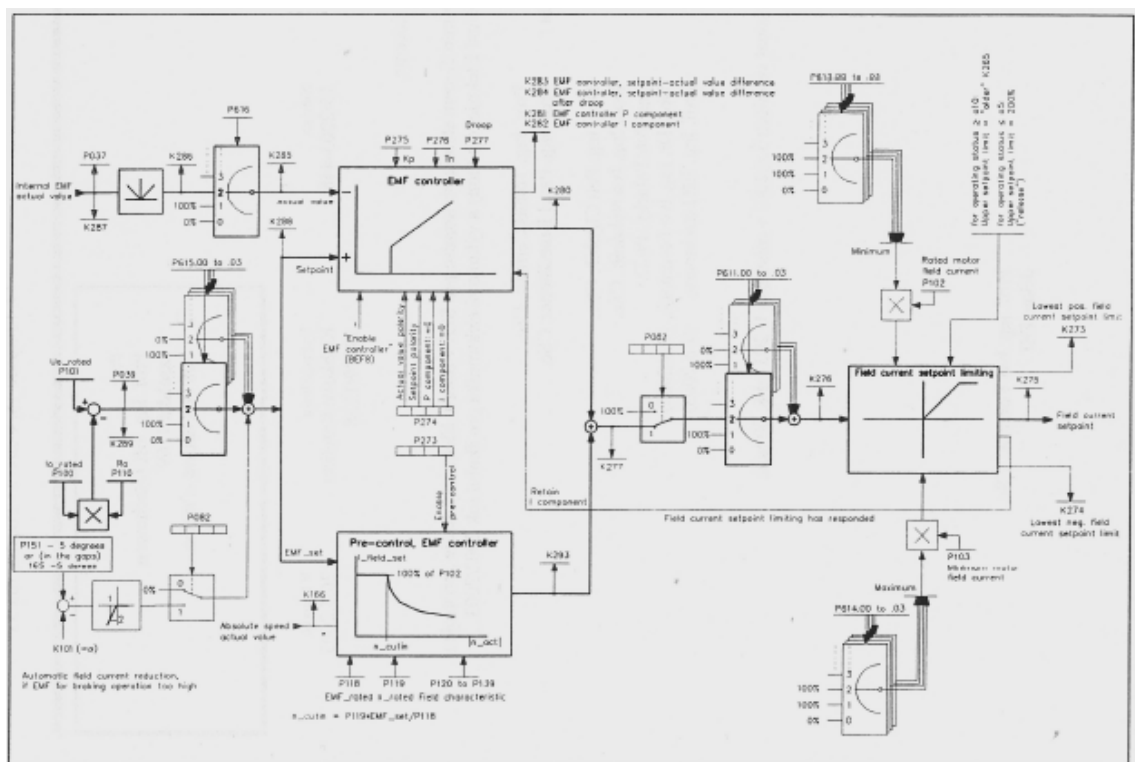
rozdílový člen, PI regulátor, omezovací členy momentu a proudu (hlídají mezní hodnoty), převodník.

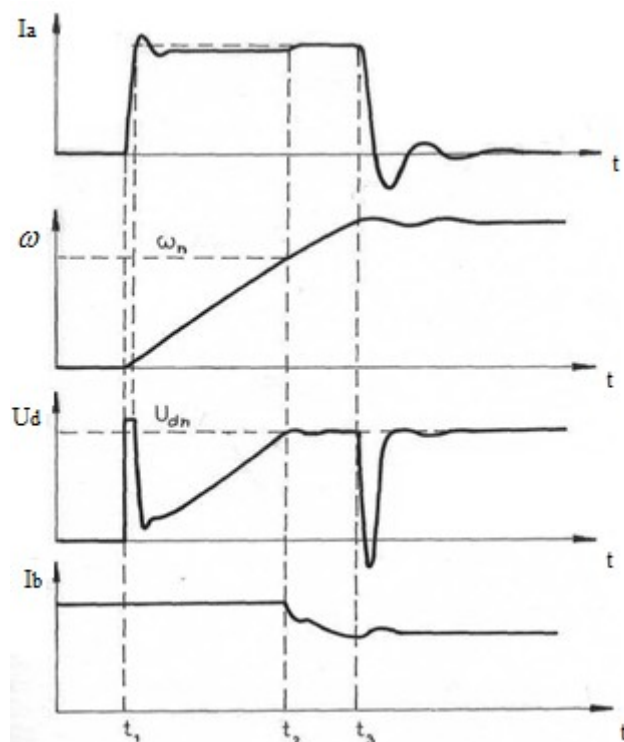
***Regulace momentu:***

1. Pomocí vestavěné momentové regulace, kdy jsou hlídány pouze maximální otáčky.
2. Vlastní aplikací, kdy využijeme standardní regulační strukturu. V jednotce omezení momentu zadáváme kladný, nebo záporný požadovaný moment.

Je třeba dávat pozor! Pokud se zadá např. do kladného momentového omezení záporná hodnota. Došlo by velmi pravděpodobně k nekontrolovatelnému roztočení pohonu směrem vzad!

1. Regulace rychlosti s podřazenou smyčkou proudu - používá se u pohonů středních a velkých výkonů
2. Regulace rychlosti bez podřazené proudové smyčky - používá u servomechanizmů poháněných speciálními motory, které snesou velké proudové přetížení, protože jsou buzeny permanentními magnety
3. Regulace rychlosti v obou regulačních rozsazích - regulace otáček v rozsahu do základní (jmenovité) rychlosti se provádí pomocí změny napětí kotvy při konstantním buzení. K rozšíření regulačního rozsahu nad základní rychlost se užívá odbuzování magnetického toku při konstantním (jmenovitém) napětí.





Obr. 7.11: Časové průběhy při rozběhu na maximální rychlost [11]

$I_a$  značí proud měniče,  $\omega$  rychlost,  $U_d$  napětí měniče kotvy a  $I_b$  proud buzení.

V čase  $t_2$  dosáhne indukované napětí nastavené hodnoty, regulátor rychlosti ( $R_\omega$ ) je na nasycení, takže proud měniče zůstává konstantní. Mění se ale, při konstantním indukovaném napětí, budící proud. V čase  $t_3$  se odsytí regulátor rychlosti a převezme vlastní regulaci rychlosti.

Zmenšení magnetického toku způsobuje v přechodném ději větší překmit a delší dobu regulace. Do regulačního obvodu indukovaného napětí někdy zařazujeme omezovač rychlosti nárůstu budícího proudu. Omezovač napomáhá k tomu, že se magnetický tok v obvodu kotvy v průběhu přechodného děje mění nepatrně, takže můžeme provést analýzu obou regulačních obvodů samostatně.

#### 7.4. Dimenzování vodičů

Provedení zapojení rozvaděče, stejně jako natažení nové kabeláže k jednotlivým zařízením tvářecího stroje vychází z určitých zásad.

##### **Zásady dimenzování vodičů:**

- proudové zatížení vodiče s ohledem na oteplení,
- dovolený úbytek napětí,
- odolnost vůči tepelným a dynamickým účinkům zkratového proudu,
- mechanická pevnost (odolnost),
- hospodárnost,
- musí být zaručena správná funkce elektrických ochranných zařízení.

**Proudové zatížení vodičů:**

Výpočtové proudy spotřebičů vychází z výpočtového zatížení  $P_p$

$$P_p = \beta \cdot \sum P_i \quad (7.2)$$

$\beta$  je činitel náročnosti dané skupiny spotřebičů, pro různé skupiny a pohybuje se podle skupin v rozmezí 0,2 -1,  $P_i$  je instalovaný výkon.

Z vypočteného zatížení stanovíme proud. Hodnota proudu pro trojfázový rozvod:

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot \cos \varphi} \quad (7.3)$$

$U_s$  je sdružené napětí,  $\cos \varphi$  je střední účinník pro danou skupinu zařízení (lze najít taky v normách).

Dimenzování průřezu vodiče vychází z jeho dovoleného oteplení. Pro maximální proud, kterým může být vodič zatěžován, platí:

$$I = \sqrt{\frac{\Delta \mathcal{G}_m}{R \cdot T}} \quad (7.4)$$

$$\Delta \mathcal{G}_m = \mathcal{G}_m - \mathcal{G}_0$$

kde  $\Delta \mathcal{G}_m$  je maximální dovolený teplotní rozdíl jádra vodiče  $\mathcal{G}_m$  (PVC izolace je např. 70°C )

a okolí  $\mathcal{G}_0$  (vodiče na vzduchu 30°C, vodiče v zemi 20°C).  $R$  je elektrický odpor vodiče ( $\Omega/m$ ),

$T$  je tepelný odpor ( $T=T1+T2+T3+...$  teplotní odpor jádra vodiče a jeho obalu+ všech obalů kabelu+okolního prostředí).

Norma ČSN 33 2000-5-523 uvádí technické parametry vodičů a kabelů. Trvalé proudové zatížení jednotlivých druhů vodičů při jejich dovolené provozní teplotě je závislé na druhu a teplotě prostředí a způsobu, jakým je vodič v tomto prostředí uložen. Rozlišujeme několik způsobů uložení označených písmeny A až Q.

$$I = k_1 \cdot k_2 \cdots k_n \cdot I_n$$

$k_1 \cdots k_n$  jsou přepočítací koeficienty, respektující snížení zatížení v závislosti na způsobu uložení vodiče, jeho seskupení, okolní teplotu, atd.

**Dovolený úbytek napětí:**

Při rozvodu kabelovým vedením dochází vlivem průchodu proudu k úbytku napětí na vedení a tím i k poklesu napětí na spotřebiči. Pokles může ovlivnit některé důležité provozní vlastnosti spotřebiče (např. moment motoru).

U střídavého rozvodu dochází k úbytku napětí nejen na činném odporu vedení, ale také na jeho reaktanci. Činný odpor vedení můžeme ovlivnit jeho průřezem. Reaktance je ale dána prostorovým rozložením vodičů, takže délkou ani průřezem vodiče vedení ji neovlivníme. U vedení NN je ale úbytek na reaktanci téměř zanedbatelný.

Úbytek napětí pro trojfázový rozvod:

$$\Delta U = \frac{\rho \cdot l}{s} \cdot \frac{P}{U_s} \quad [V, \Omega \cdot mm^2 / m, m, mm^2, W, V] \quad (7.5)$$

$\Delta U$  je úbytek napětí pouze na fázovém vodiči,  $\rho$  je rezistivita vodiče,  $l$  je délka vedení,  $s$  je průřez vodiče,  $U_s$  je sdružené napětí a  $P$  je přenášený výkon.



### ***Odolnost vůči tepelným a dynamickým účinkům zkratového proudu:***

Při provozu může dojít k průrazu izolace a k následnému zkratu. I když je zkrat odpojen ochranným prvkem, krátce protéká obvodem zkratový proud, který bývá mnohonásobně větší než jmenovitý proud. Tento zkratový proud způsobuje tepelné i mechanické (vodiče, jimiž teče proud, na sebe působí silou) namáhání. Proto je důležitou veličinou tzv. zkratový výkon, nebo nárazový zkratový proud.

Silové účinky jsou nebezpečnější tam, kde jsou vodiče pevně uloženy, např. přípojnice v rozvaděči upevněné na izolátorech, kde může dojít k ulomení izolátoru.

Síla působící mezi dvěma rovnoběžnými vodiči je dána vztahem:

$$F = k_1 \cdot k_2 \cdot 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{I_{KM}^2}{a} \quad [N \cdot m^{-1}] \quad (7.6)$$

$I_{KM}$  je nárazový zkratový proud,  $k_1$  - koeficient tvaru,  $k_2$  - koeficient respektující uspořádání vodičů a fázový posun proudů,  $a$  - vzájemná vzdálenost vodičů.

Tepelné účinky mohou nepříznivě působit na izolaci kabelu. Posuzují se podle tzv. ekvivalentního oteplovacího proudu. Pro minimální průřez kabelu platí:

$$S_{\min} = \frac{I_{KE} \cdot \sqrt{t_K}}{K} \quad [mm^2] \quad (7.7)$$

$I_{KE}$  je ekvivalentní oteplovací proud,  $t_K$  - doba trvání zkratu,  $K$  - představuje koeficient, který respektuje teplotu jádra kabelu před a po zkratu.

### ***Mechanická pevnost:***

Vodiče pro elektrický rozvod musí být schopny snést nejvyšší mechanické namáhání. U vodičů vnitřního rozvodu dochází k mechanickému namáhání při montáži nebo vlivem zkratových proudů. Dále to může být namáhání během provozu (pohyblivé přírůdky, v našem případě pojezd tlačky). Normy udávají minimální průřezy pro jednotlivé druhy vedení, místo jejich použití, způsob uložení.

### ***Hospodárnost:***

Má zajistit, aby celkové investiční a provozní náklady na vedení byly co nejmenší. To znamená nalézt hospodárný průřez (velký průřez = drahé vedení, ale naopak, malý odpor a malé ztráty).

### ***Správná funkce elektrických ochran:***

Jedná se o správné působení ochrany před nebezpečným dotykem (ČSN 332000-4-41).

Pro impedanci poruchové smyčky platí:

$$Z_S \cdot I_A \leq U_0 \quad [\Omega, A, V] \quad (7.8)$$

$Z_S$  je impedance poruchové smyčky obsahující zdroj, vodič vedení až k místu poruchy a ochranný vodič mezi místem poruchy a zdrojem.

$I_A$  je proud vyvolávající automatickou funkci přístroje způsobující odpojení ve stanovené době. Pokud je použit proudový chránič, je tímto proudem jeho jmenovitý vybavovací reziduální proud.

$U_0$  je jmenovité střídavé nebo stejnosměrné napětí vodiče vedení vůči zemi.

Při ochraně nulováním je nutné průřez vedení (pracovního i ochranného vodiče) volit tak, aby impedance vypínací smyčky nepřekročila hodnotu, která vyplývá z podmínky pro vypnutí ochranného prvku (přístroje) v požadované době.

Tab. 7.1: Maximální doby odpojení

Sít'	50 V < $U_0 \leq 120$ V		120 V < $U_0 \leq 230$ V		230 V < $U_0 \leq 400$ V		$U_0 > 400$ V	
	s		s		s		s	
	AC	DC	AC	DC	AC	DC	AC	DC
TN	0,8	Poznámka 1	0,4	5	0,2	0,4	0,1	0,1
TT	0,3	Poznámka 1	0,2	0,4	0,07	0,2	0,04	0,1

Platí pro koncové obvody, které nepřekračují 32A.

Poznámka 1: odpojení může být vyžadováno z jiných důvodů, než je ochrana před úrazem elektrickým proudem.

### 7.5. Shrnutí provedené rekonstrukce

Neměnný zůstal indukční ohřev a s ním nakulovací rošty.

Rekonstrukce byla provedena u vstupního ramene. Jeho funkci nyní zastává tlačka. Mírná úprava a posunutí bylo provedeno u výstupního ramene.

Došlo k modernizaci rozvaděče. Staré prvky (jističe, stykače, atd.) byly nahrazeny pokrokovými. Rovněž byl vyměněn programovatelný automat. Ovládací pult byl osazen novějšími ovladači a signálky. Navíc na pultě přibyl operátorský panel. Pro tvářecí stroj tlakových láhví byl zvolen OP 17, který je pro účely stroje plně dostačující. Vzhledem k prostředí a také činnosti, kterou obsluha provádí je např. dotykový panel nevhodný.

Tím, že se jedná o odlišnou technologii tváření ocelové láhve, bylo nově zhotoveno vřeteno a koník. Otáčky vřetene se vykonávají pomocí elektropohonu. Ten tvoří měnič a motor. Motor je řízen měničem Simoreg 6RA70. Jedná se o čtyřkvadrantový plně řízený usměrňovač. Zvolen byl motor stejnosměrný, a sice pro jeho dobré vlastnosti jako jsou např. jednoduchá otáčková regulace, velký krouticí moment při malých otáčkách, přizpůsobivost zatěžovacích charakteristik pohaněnému zařízení, velká výkonová i momentová přetížitelnost.

Samotné tváření lahve provádí koník. Posuv koníku je řešen hydraulicky. Na koníku je upevněna miska. Miska je ta část zařízení, která uzavírá produkt v hrdlo nebo dno. Právě díky snadné výměně misky není v případě opakovaných málosériových výrob problém předělu na jiný průměr.

Nový je také hydraulický agregát, který je poháněn jedním motorem o výkonu 15 kW. Oproti předešlému je značně menší a samozřejmě plně dostačující.

Zrekonstruované zařízení, které je nyní v provozu, je schopné udělat za směnu až 550 ks láhví a 350 ks akumulátorů. Vše se samozřejmě odvíjí od tloušťky stěny daného polotovaru. V porovnání s původním zařízením se tedy výroba navýšila o zhruba 200 ks za jednu pracovní směnu.

***Po rekonstrukci je zařízení schopné zpracovat tyto vsázky:***

Tab. 7.2: Technické parametry vsázky určené k ohřevu

ocelové lahve				akumulátory			
vnější průměr (mm)	min. délka ohřívání části (mm)	max. doba ohřevu (s)	výkon (%)	vnější průměr (mm)	délka ohřívání části (mm)	max. doba ohřevu (s)	výkon (%)
140	93	20	95	114	60 - 80	29	92
178	114	37	75	121	60 - 80	50	45
204	135	45	65	168	85 - 115	60	70
229	152	45	80	225	110 - 150	40	90
235	156	45	90	229	115 - 155	40	90
				232	116 - 155	48	85

Tab. 7.3: Tloušťky stěn některých používaných vsázek

vnější průměr (mm)	tloušťka stěny (mm)
140	2,7 - 6,0
170	2,7 - 6,0
204	3,5 - 6,5
229	3,5 - 9,5
267	5,0 - 10,0

## **8. ZÁVĚR**

Cílem diplomové práce bylo navržení rekonstrukce tvářecího stroje tlakových láhví. Tento stroj je součástí staré linky v podniku VÍTKOVICE CYLINDERS a.s.

Ve čtyřech kapitolách byla popsána funkčnost jednotlivých částí stávajícího zařízení. Výchozím bodem této práce bylo posouzení spolehlivosti provozu daného stroje, na jehož základě byl proveden návrh na rekonstrukci.

Došlo k celkové přeměně dílčích jednotek tvářecího stroje. Jedny z důležitých částí řízení stroje byly vybrány od firmy Siemens. Tyto produkty byly zvoleny na základě jednotného používání.

Ve firmě VÍTKOVICE CYLINDERS a.s. jsou již využívány při ovládání jiných strojů.

Tento důvod je výhodný nejen pro pracovníky údržby, kteří mají s ovládáním nebo nastavováním těchto výrobků zkušenosti, ale i pro provozovatele. V případě poruchy totiž dochází k urychlení opětovné provozuschopnosti stroje. Jednak díky rychlé diagnostice problému a jednak možnosti použití skladové zásoby daného produktu.

Díky automatizaci a modernizaci je také snadná přehlednost pro obsluhu, která řeší problematiku spojenou s chodem stroje.

Důvodem rekonstrukce byla snaha o zvýšení produktivity výrobků a ušetření investic, které byly vynakládány do údržby starého zařízení. V porovnání s původním zařízením došlo k navýšení výroby, což vede k lepším ekonomickým výsledkům firmy.

## Seznam použité literatury

- [1] Hradílek, Z. Elektrotepelná technika. 1. vydání. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 1996. 234 s. ISBN 80-7078-323-0
- [2] Hradílek, Z., Král, V., Lázníčková, I. Elektrotepelná technika. 1.vydání. Praha: ČVUT Praha, 2012. 264 s. ISBN 978-80-01-04938-9
- [3] Hradílek, Z. Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí. 1. vydání. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008. 208 s. ISBN 978-80-248-1696-8
- [4] Chmelík, K., Pospíšilík, J. Elektrické stroje v energetice. 1. vydání. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2003. 228 s. ISBN 80-248-0314-3
- [5] Jiříčka, Z. Indukční ohřev v kovárnách. 1. vydání. Praha: SNTL, 1966. 117 s.
- [6] Kreidl, M. Měření teploty: senzory a měřicí obvody. 1. vydání. Praha: BEN-technická literatura, 2005. 239 s. ISBN 80-7300-145-4
- [7] Langer, E., Kožený J. Elektrotepelná zařízení indukční: základy teorie, výpočty a konstrukce. 1. vydání. Plzeň: VŠSE, 1982. 185 s.
- [8] Plch, J. Elektrické teplo. 1. vydání. Praha: SNTL, 1984. 188s.
- [9] Poliak, F., Fedák, V., Zboray, L. Elektrické pohony. 1. vydání. Bratislava: Alfa, 1987. 614s.
- [10] Říha, J. Elektrické stroje a přístroje. 3. vydání. Praha: SNTL, 1990. 287 s. ISBN 80-03-00315-6
- [11] Skalický, J. Elektrické servopohony - skriptum. 2. vydání. Brno: VUT, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky, 2001. 86 s. ISBN 80-214-1978-4
- [12] Šilhán, V., Bernat, F., Vaniček J. Elektrotechnika II. 2. vydání. Praha: SNTL, 1990. 124 s. ISBN 80-03-00189-7
- [13] Interní materiály
- [14] Kocman, S., Kolář, V., Vrána, V. Stejnoseměrné stroje. [online] [cit. 2013-02-04]  
Dostupný z: [http://feil.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/elektrotechnika/sylab\\_stejnosemerne\\_stroje\\_bc.pdf](http://feil.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/elektrotechnika/sylab_stejnosemerne_stroje_bc.pdf)
- [15] Kadlec, K. Měřicí a řídicí technika, měření teploty. [online] [cit. 2013-03-15] Dostupný z: [http://web.vscht.cz/kadleck/aktual/mrt\\_fpb/prednasky/2-MRT\\_2010-Teplota.pdf](http://web.vscht.cz/kadleck/aktual/mrt_fpb/prednasky/2-MRT_2010-Teplota.pdf)
- [16] Pokorný, P. Výrobní stroje II. 1. vydání. Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, katedra výrobních systémů, 1998. 123 s. [online] [cit. 2013-03-10] Dostupný z: [http://www.kvs.tul.cz/download/vyrobní\\_stroje/tvareci.pdf](http://www.kvs.tul.cz/download/vyrobní_stroje/tvareci.pdf)
- [17] Szeruda, R. Měření teploty povrchu materiálu ohřívajícího v peci. [online] [cit.2013-02-09] Dostupný z: <http://pyrometrie.sweb.cz/Pec.htm>
- [18] Vavříčka, R. Bezdotykové měření teploty. Praha: ČVUT, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí. [online] [cit.2013-03-15] Dostupný z: <http://utp.fs.cvut.cz/vz/clanky/104.pdf>
- [19] Industrie Control Service; distributor výrobků Saia-Burgess Controls Ltd. [online] [cit. 2013-03-22] Dostupný z: <http://www.ics-praha.cz/saia-burgess/>
- [20] Firma ROBOTERM spol.s.r.o. . [online] [cit.2013-03-20] Dostupný z: [www.roboterm.cz](http://www.roboterm.cz)
- [21] Firma SIEMENS [online] [cit. 2013-03-25] Dostupný z: [www.siemens.com/entry/cz/cz/](http://www.siemens.com/entry/cz/cz/)

## **Seznam příloh**

**Příloha A:** Dílčí projektová dokumentace stávajícího stroje

**Příloha B:** Projektová dokumentace zrekonstruovaného stroje

**Příloha C:** Pole rozvaděče stávajícího tvářecího stroje s osazením programovatelného automatu PCA1 a diodové matice.

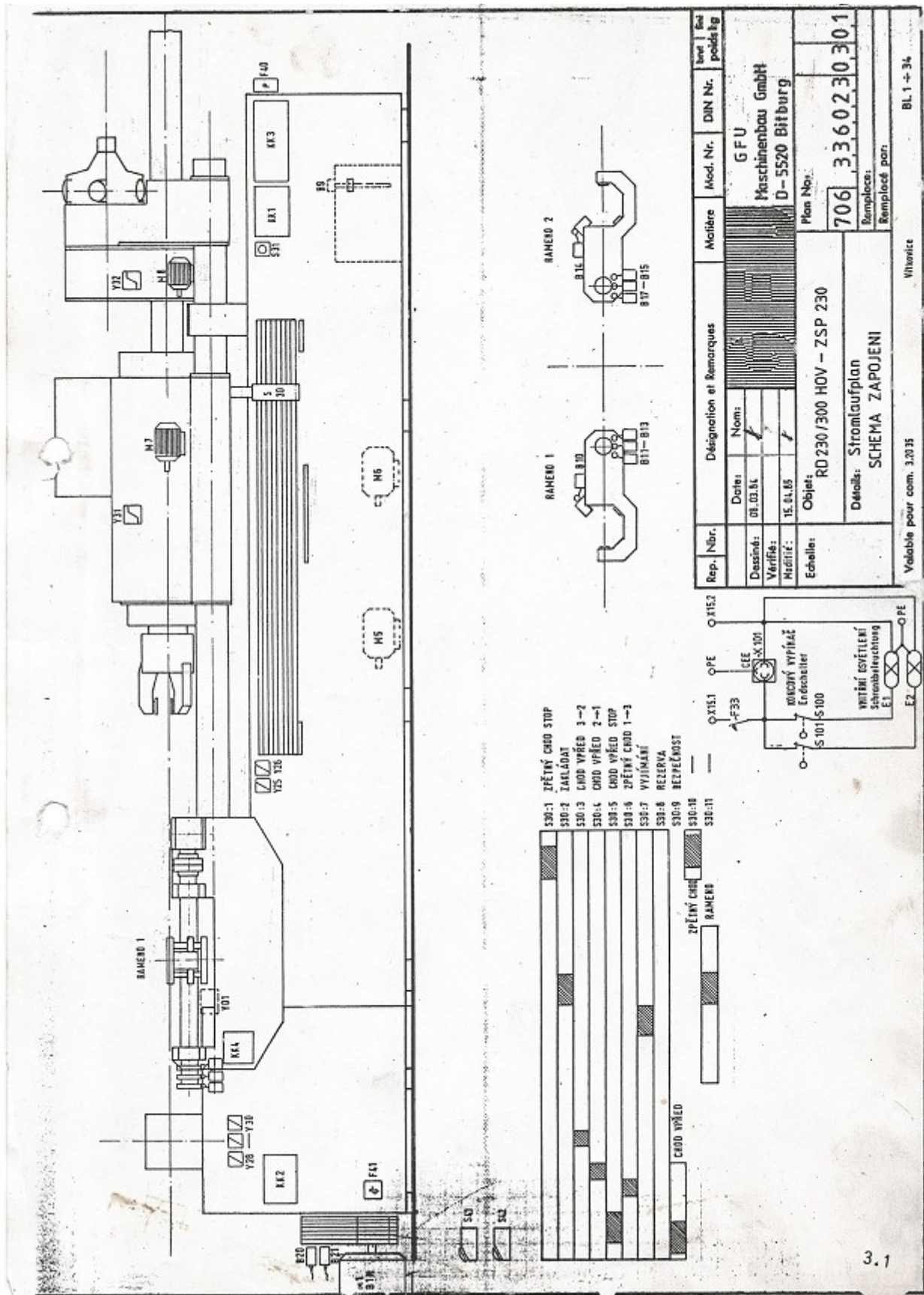
**Příloha D:** Ukázka z výpisu elektro poruch stávajícího tvářecího stroje.

**Příloha E:** Zapojení rozvaděče pro nový tvářecí stroj.

**Příloha F:** Zobrazení části programu automatu S7 300. Jedná se o automatický chod tlačky do vřetene.

**Příloha G:** Sekvence snímků výroby hrdla tlakové ocelové lahve. Na prvním snímku je láhev po ohřevu z induktoru tlačena do vřetene, poté dochází k činnosti tváření mezi vřetenem a koníkem, nakonec můžeme vidět láhev v konečné podobě po tváření, kterou rameno přemístí mimo pracoviště tvářecího stroje.

## Příloha A:

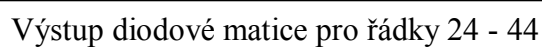


### Schéma osazení elektrozařízení stroje Usine de Wecker



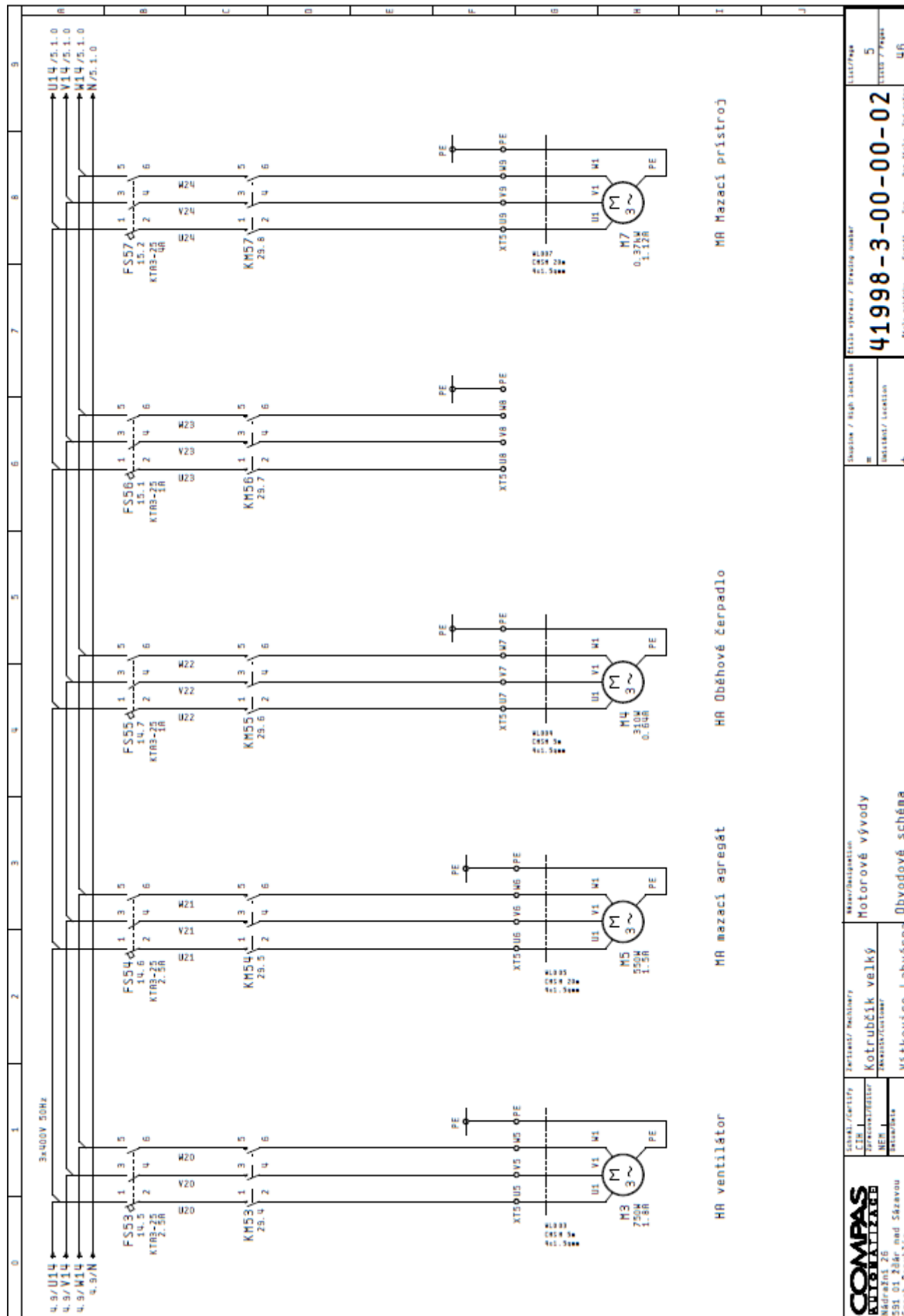




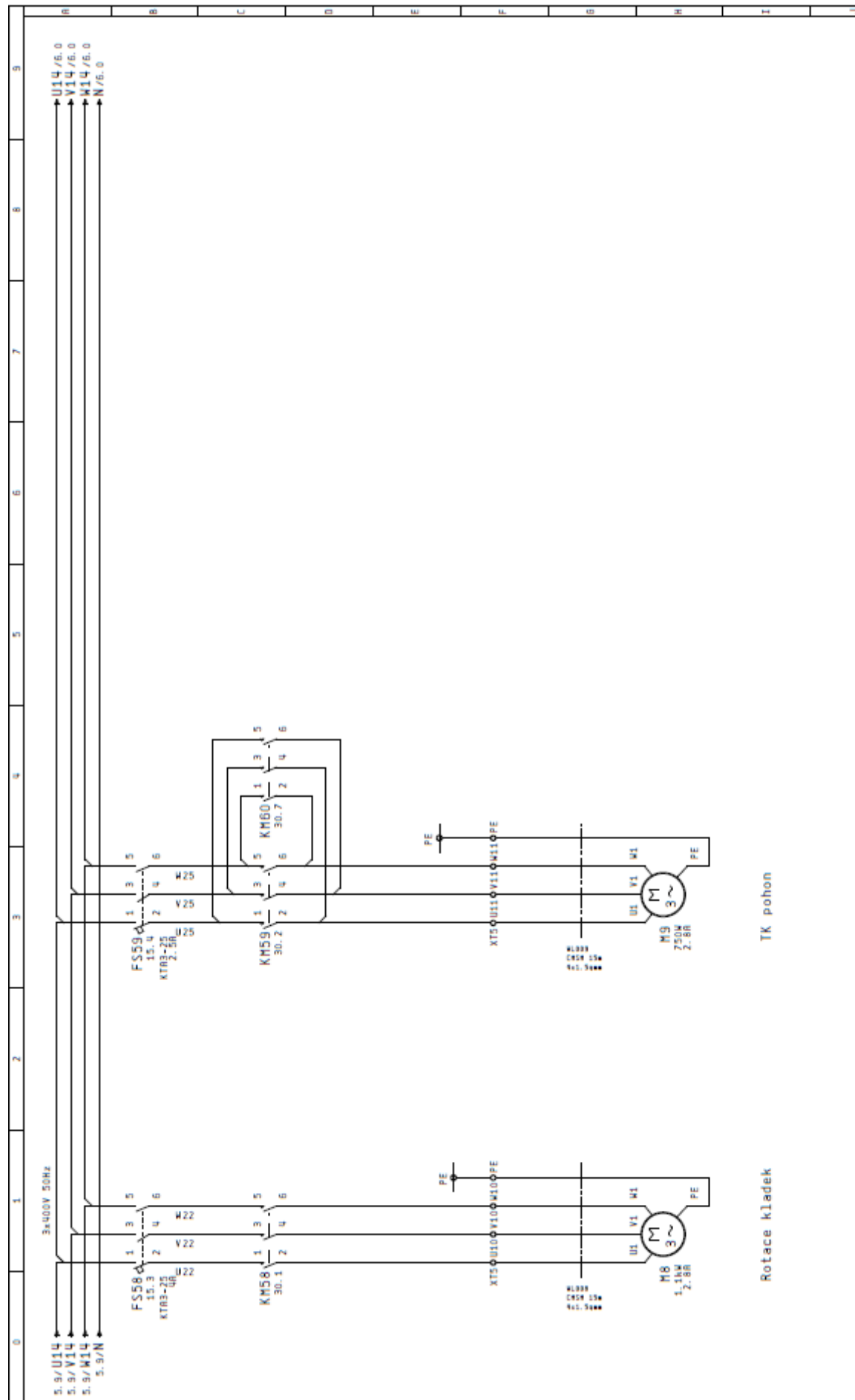







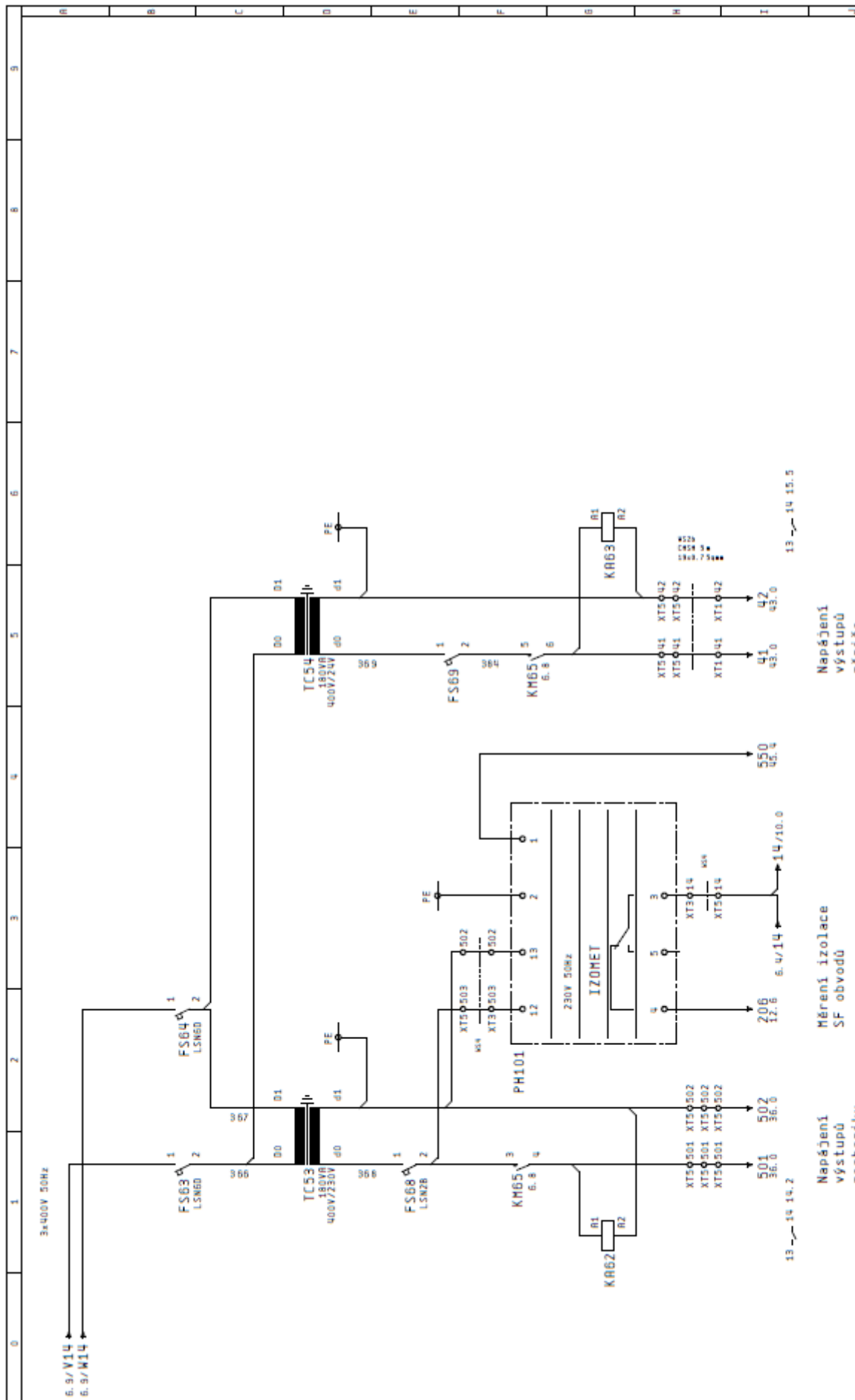


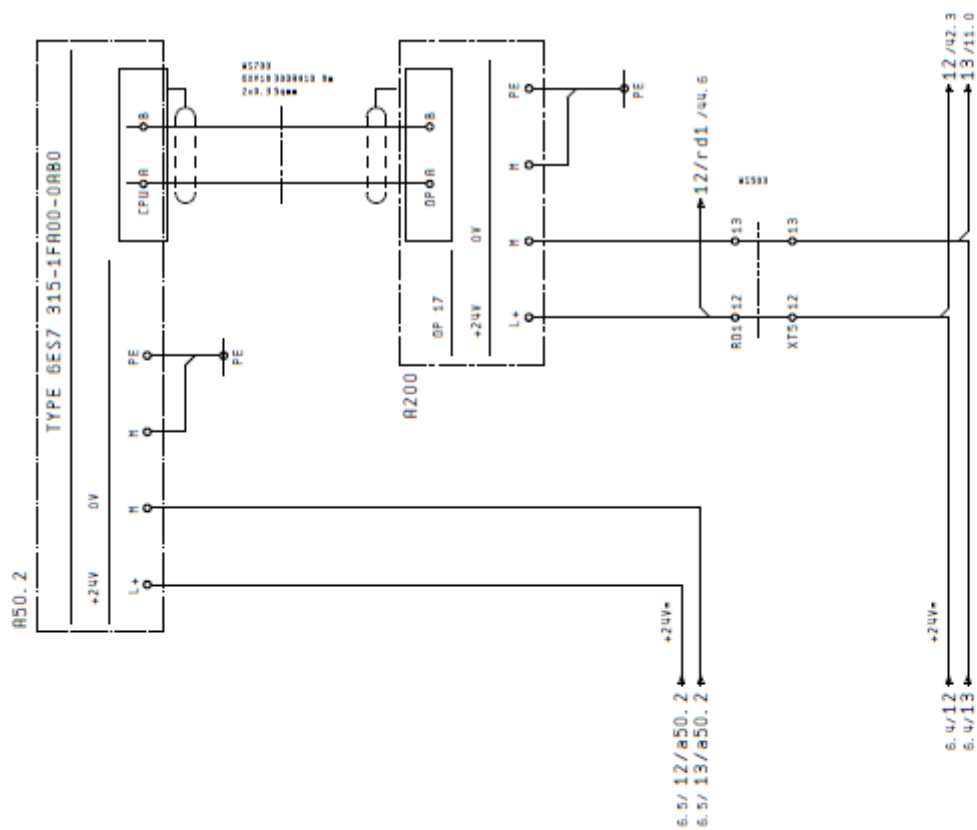
<b>COMPAS</b> KONTAKTÁŘSKÉ NÁDRAŽNÍ ŽE 591 01 Žďár nad Sázavou Czech Republic	LOCAL / Certify CEM Certifikovaný NER Datum	EXTERNAL / Machinery Kotelářský velký Znakost/Customer Vítkovice Lahvářna	Name/Designation Motorové vývody Obvodové schéma	Skupina / High location +	Detail / Location +	Title / Drawing number <b>41998-3-00-00-02</b>	List/Page 5
						Title / Drawing number <b>41998-3-00-00-02</b>	List/Page 46



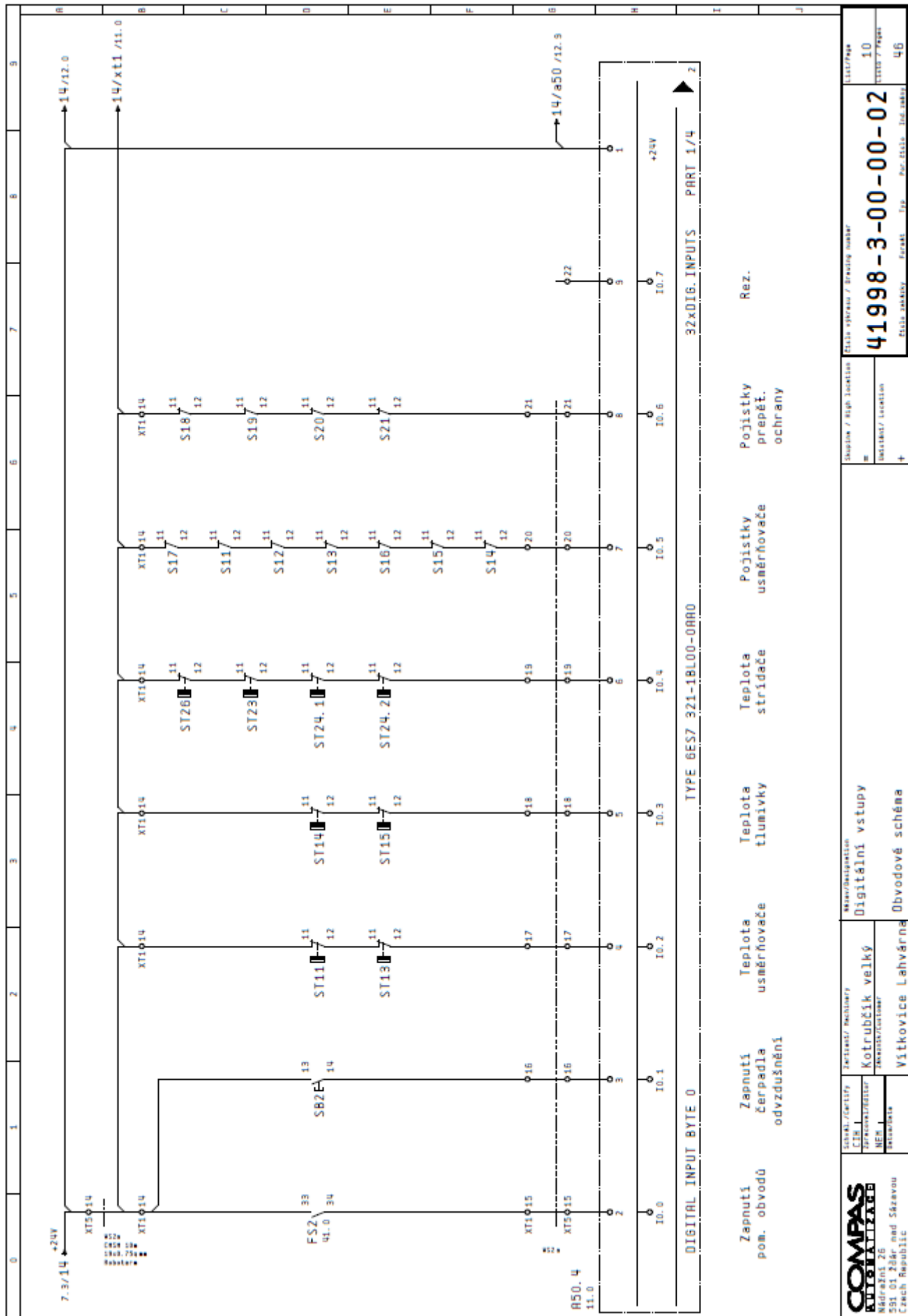
 Nádražní 26 591 01 Zábřeh nad Sázavou Czech Republic	Model / Certify KOTRUBČÍK KOTRUBČÍK	Customer / Enduser KOTRUBČÍK velký KOTRUBČÍK	Name/Designation Motorové vývody Obvodové schéma	Skupina / High location +	Detail / Location +	Title výtvar / Drawing number <b>41998-3-00-00-02</b>	List/Page 5.1

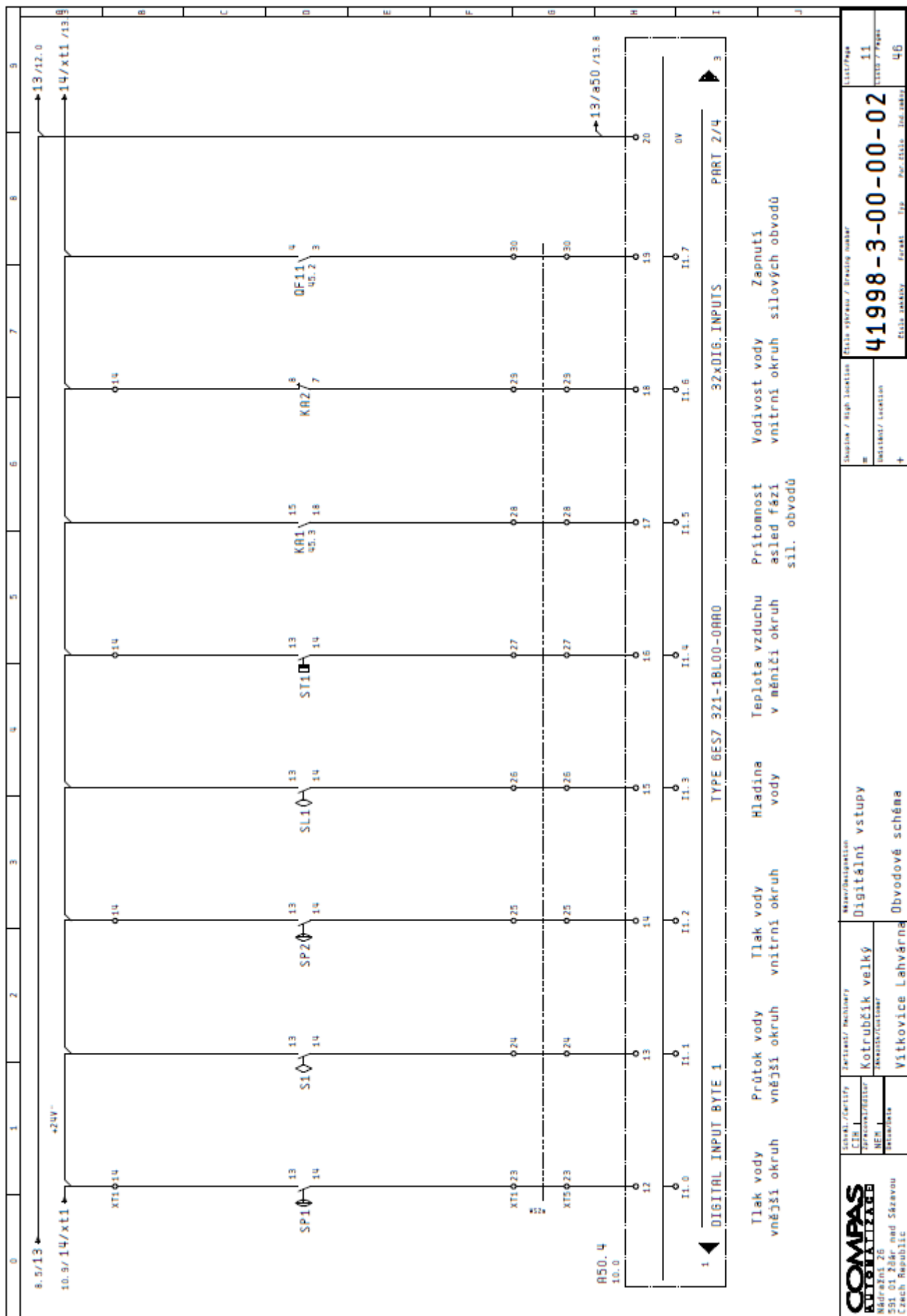


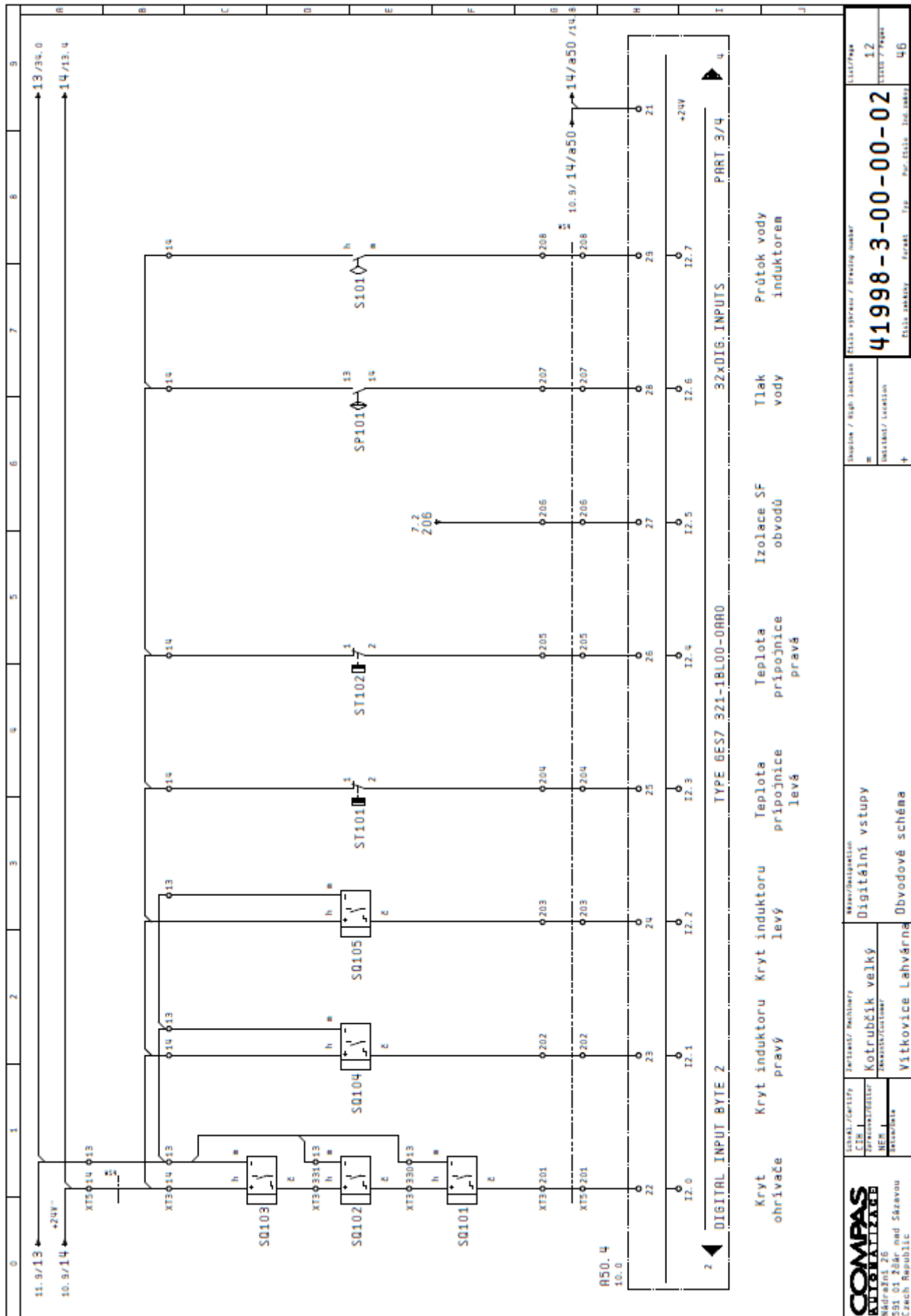










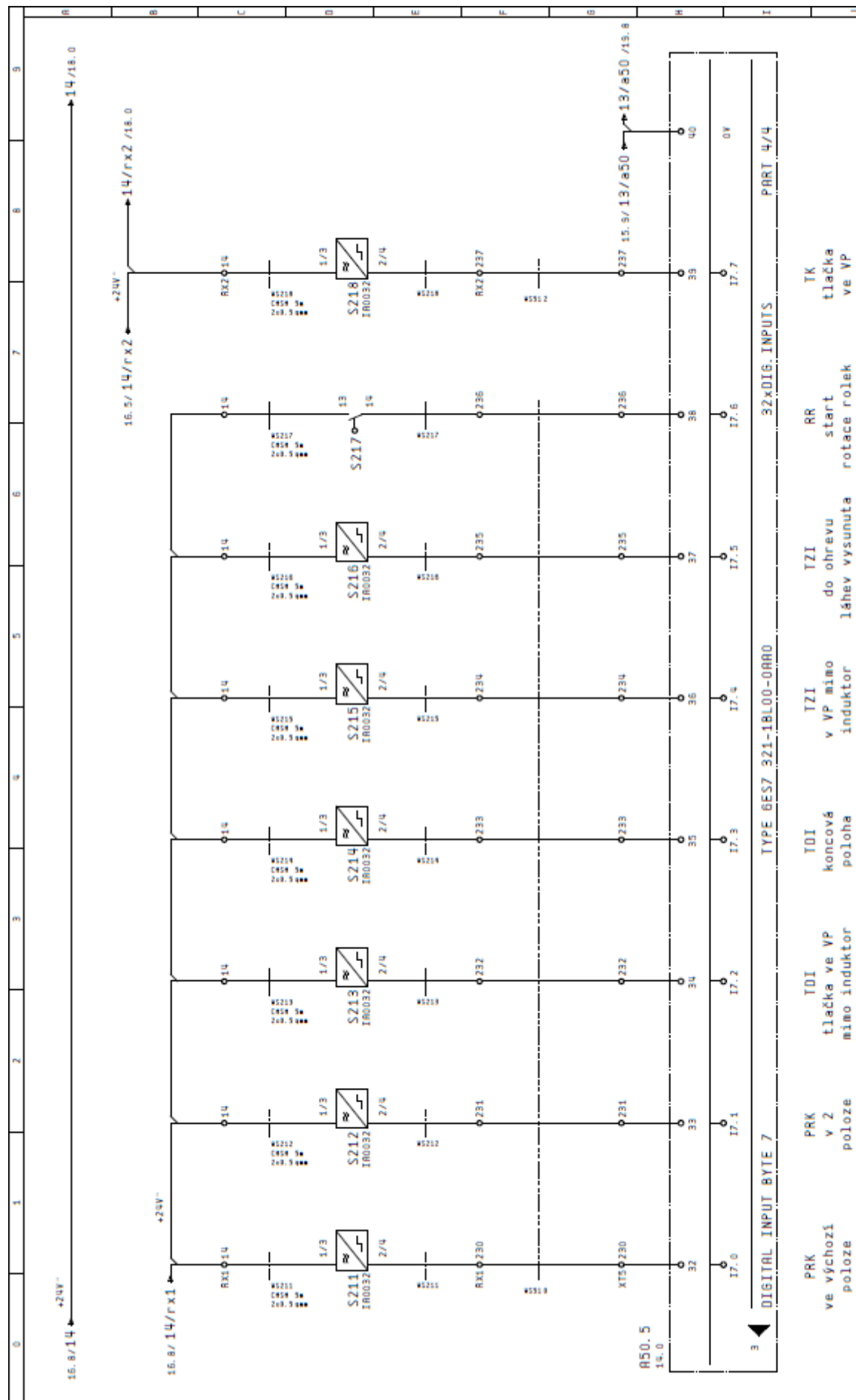












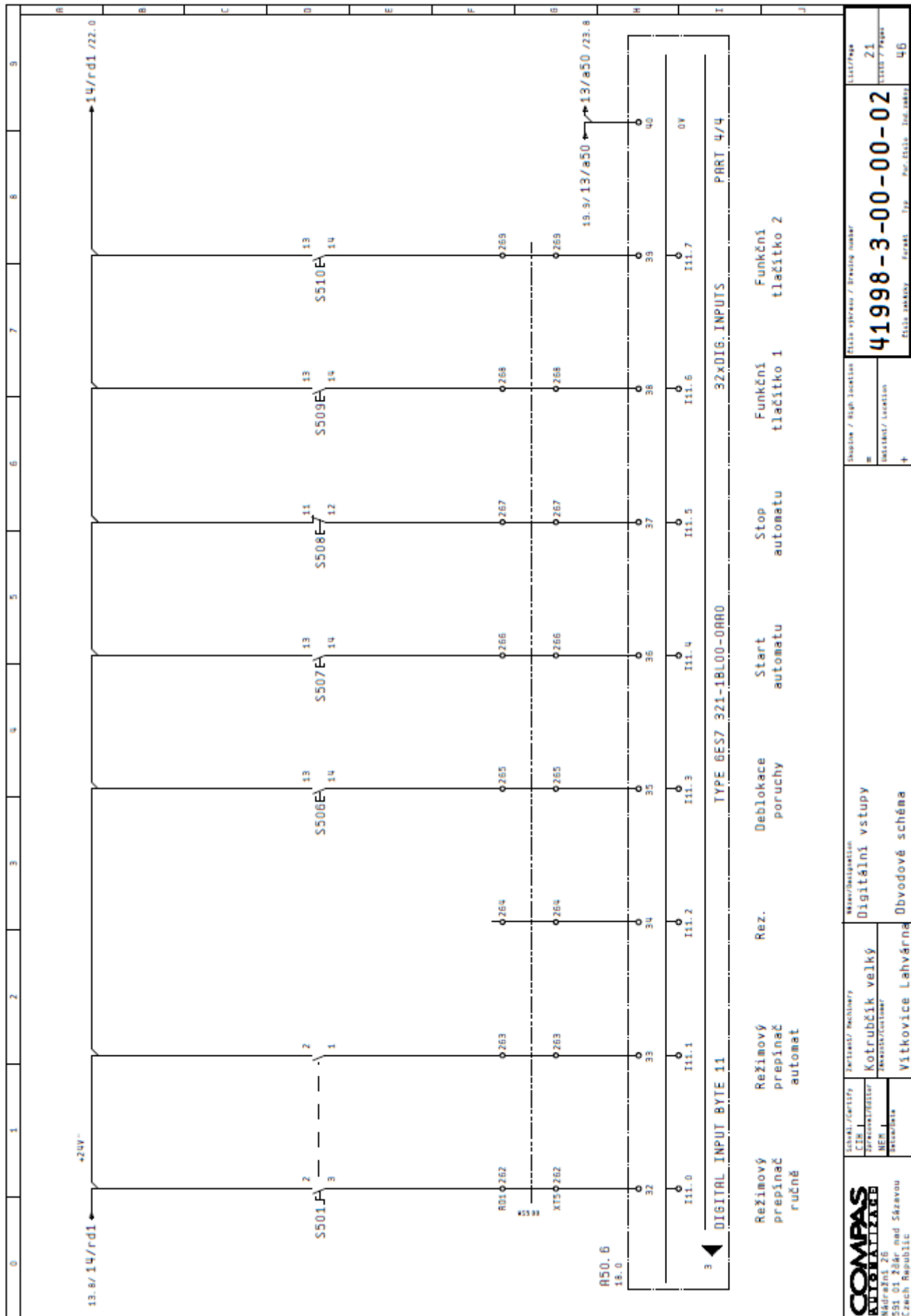
<div><div><div>COMPAS</div><div>KONTROLNÍ SYSTÉMY</div><div><div>Nádražní 26</div><div>591 01 284r nad Sázkou</div><div>Czech Republic</div></div></div></div>	<div>check/certify</div> <div>check/certify</div>	<div>Manufacturer/Manufacturer</div> <div>Kotrubčák velký</div> <div>Železný/Železný</div>	<div>Model/Description</div> <div>Digitální vstupy</div>	<div>Diagram / High location</div> <div>+</div>	<div>41998-3-00-00-02</div> <div>41998-3-00-00-02</div> <div>46</div>	<div>17</div> <div>46</div>
	<div>check/certify</div> <div>check/certify</div>	<div>Manufacturer/Manufacturer</div> <div>Kotrubčák velký</div> <div>Železný/Železný</div>	<div>Model/Description</div> <div>Digitální vstupy</div>	<div>Diagram / High location</div> <div>+</div>	<div>41998-3-00-00-02</div> <div>41998-3-00-00-02</div> <div>46</div>	<div>17</div> <div>46</div>

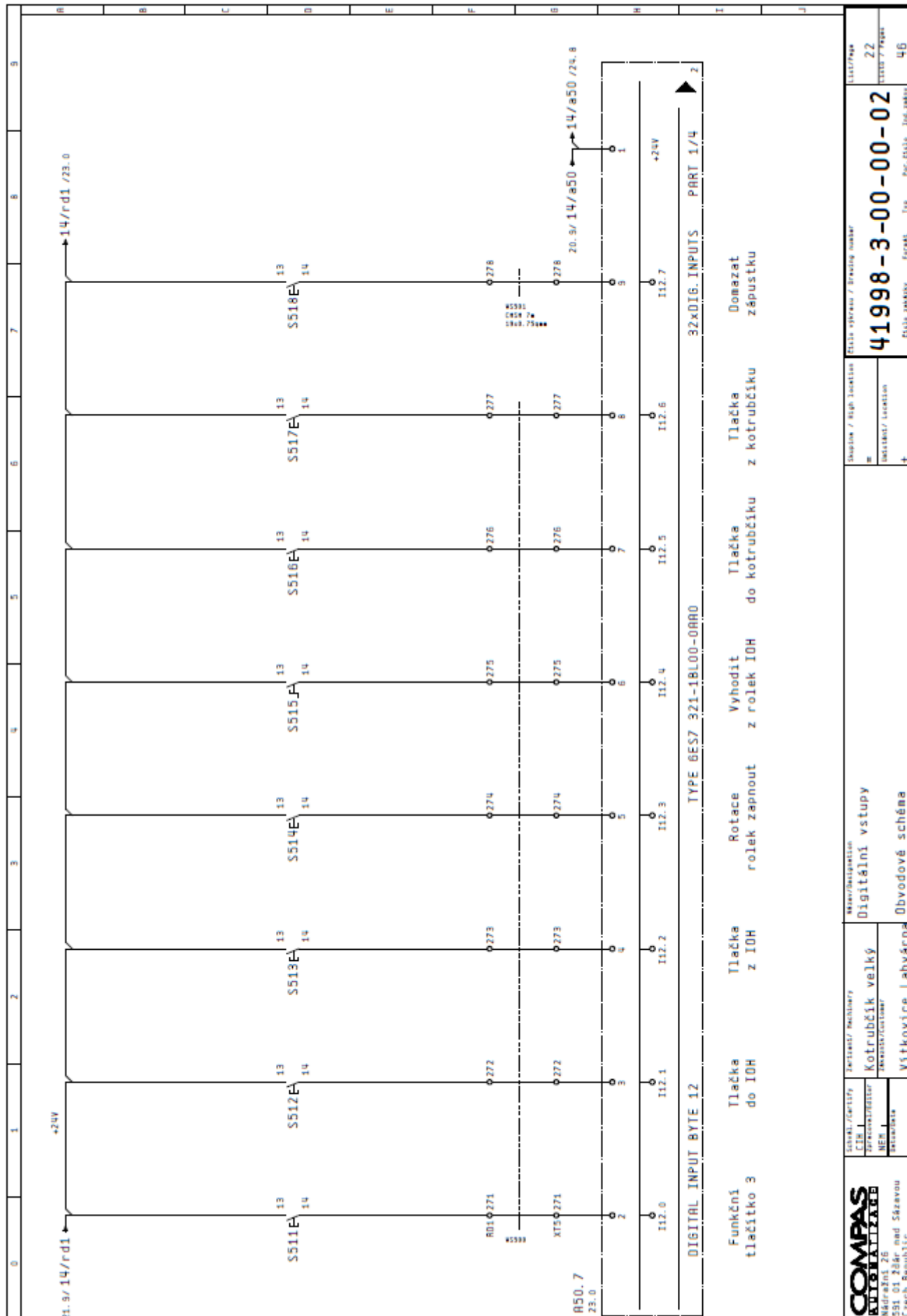


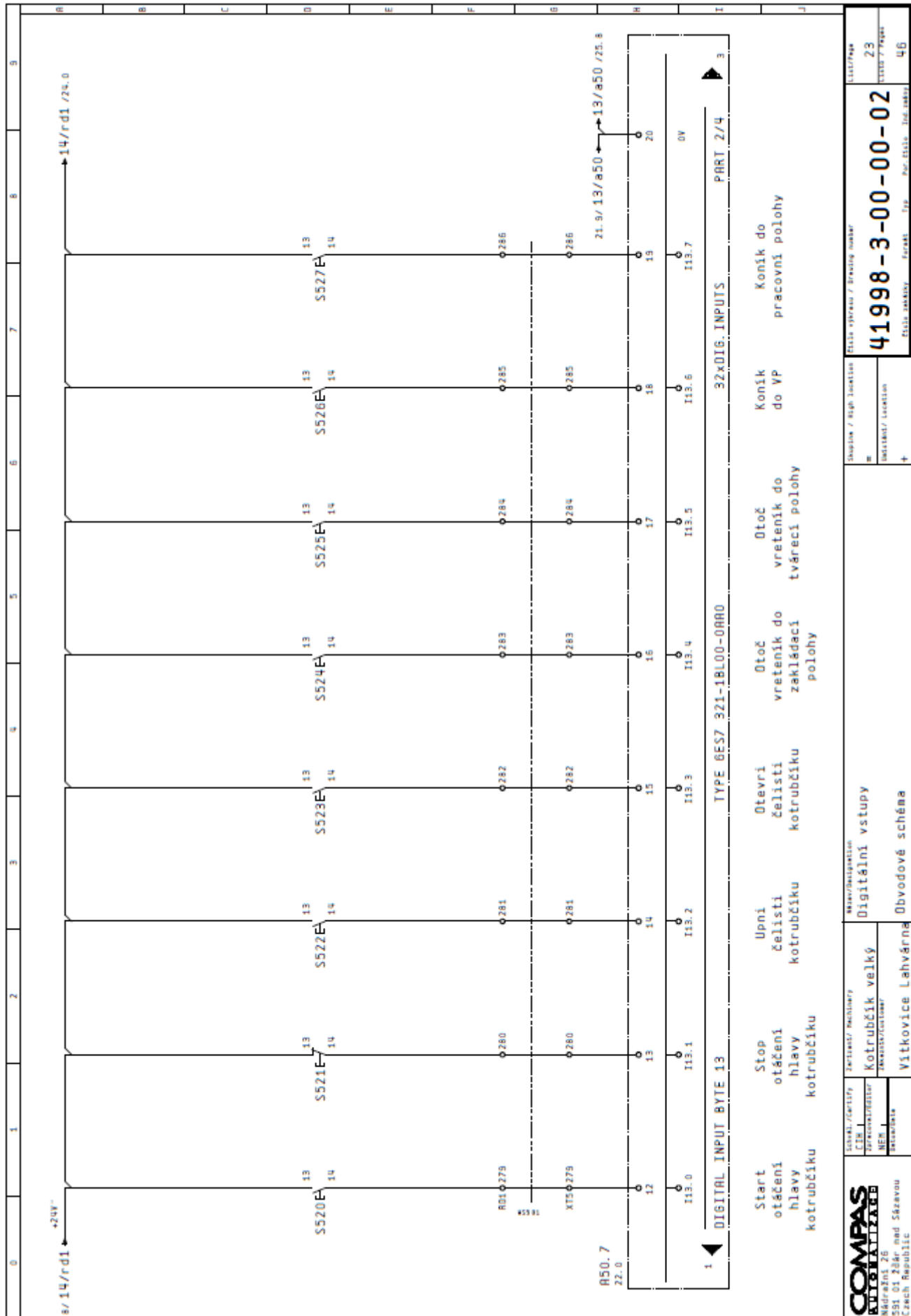




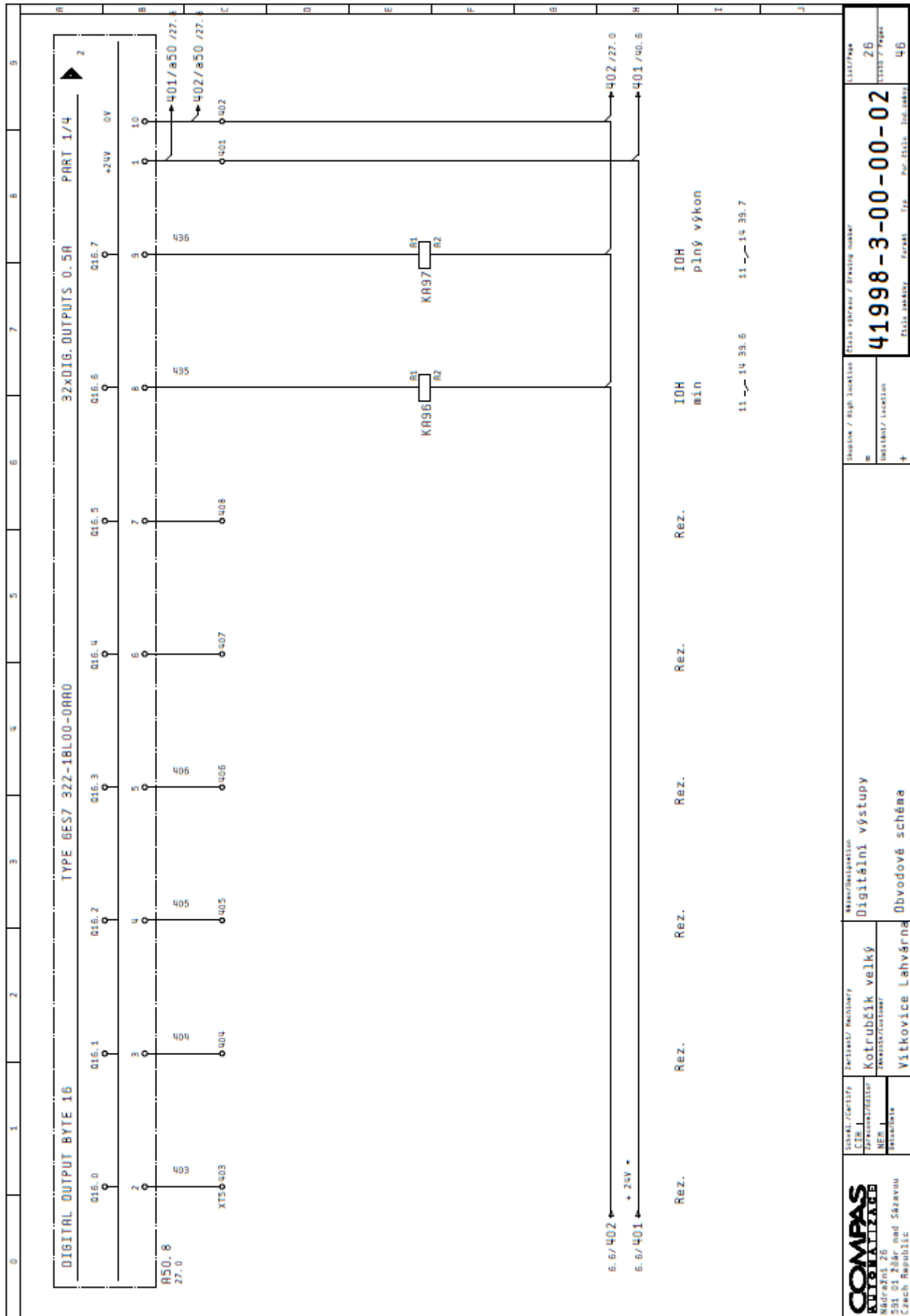






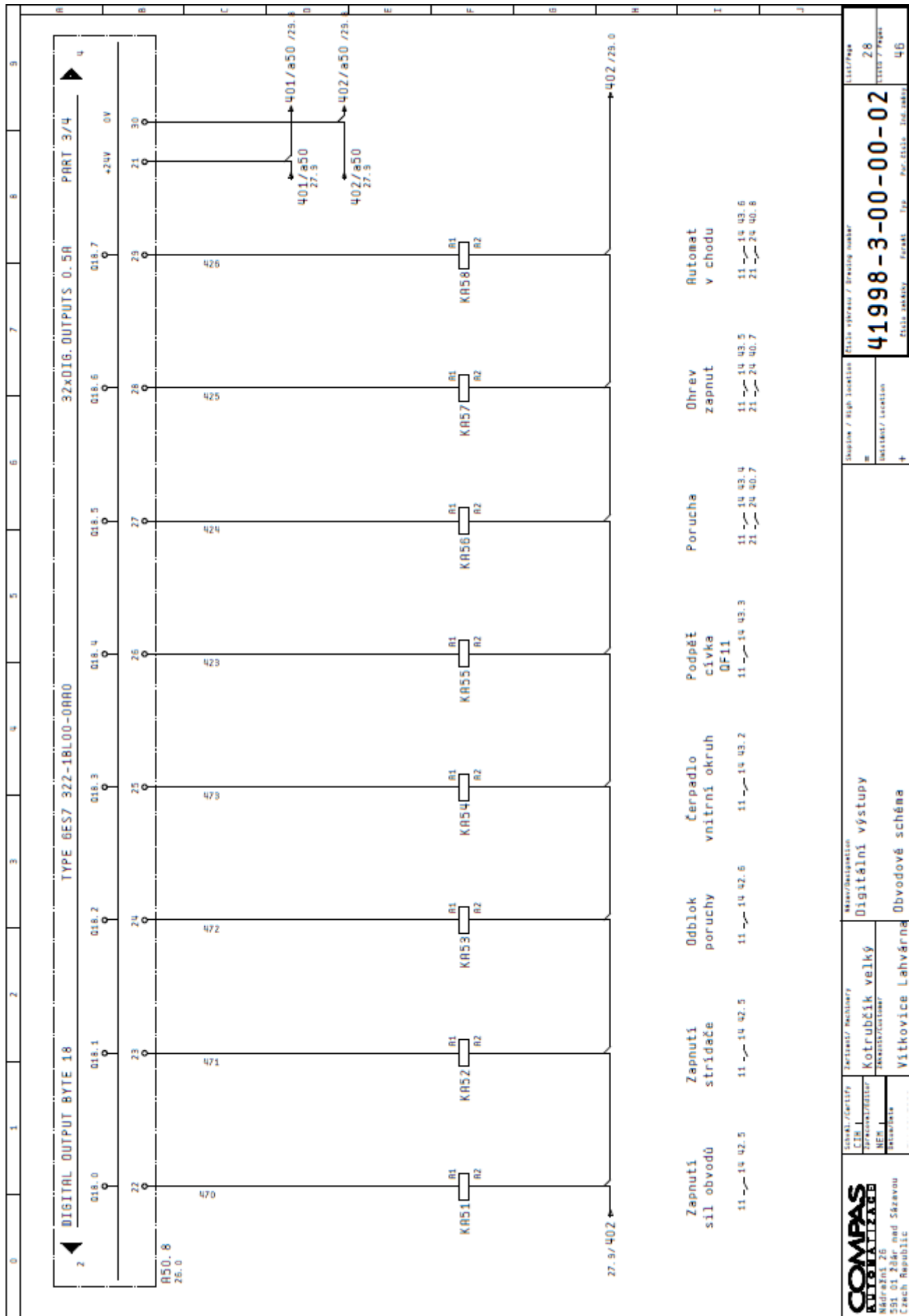




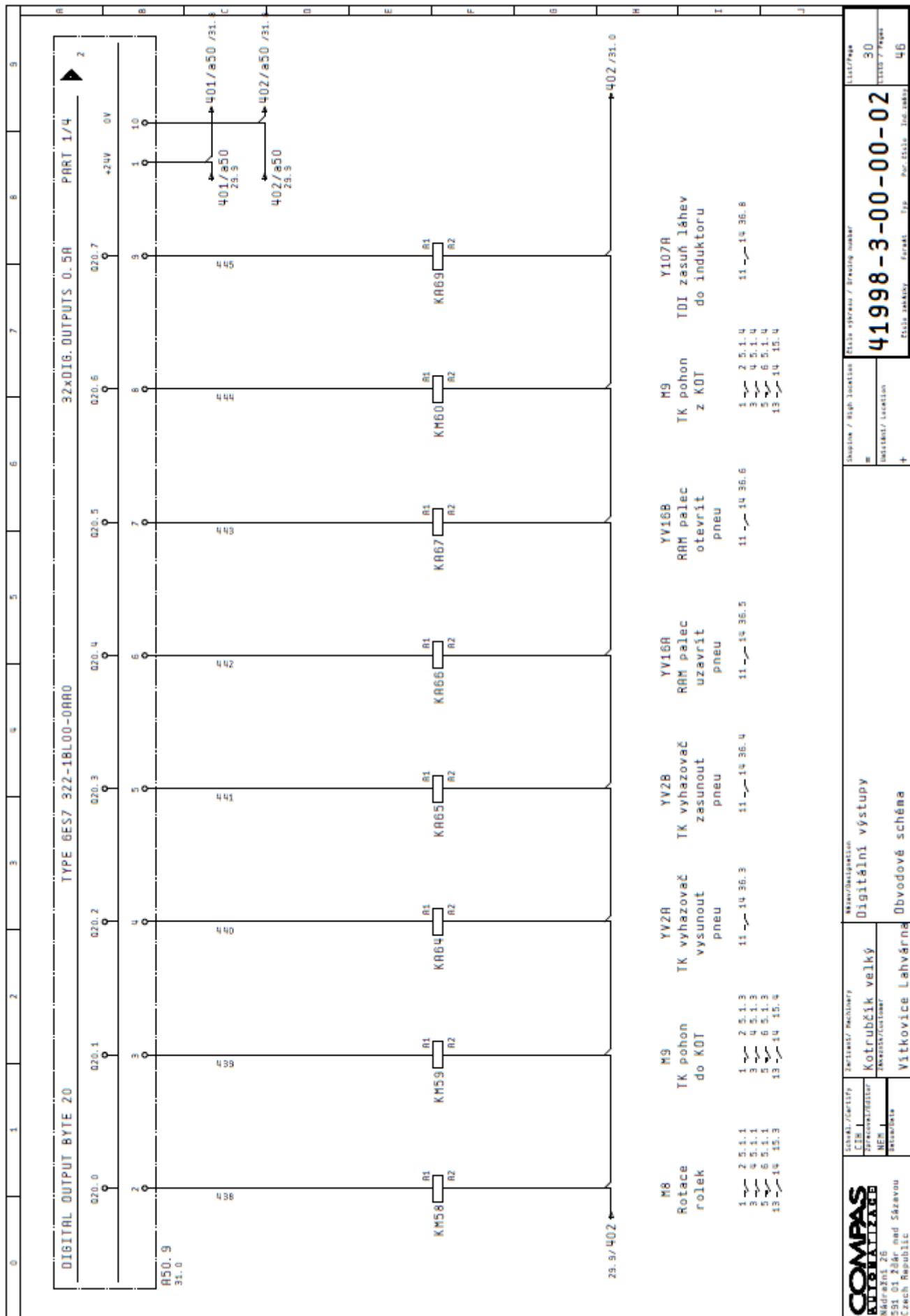


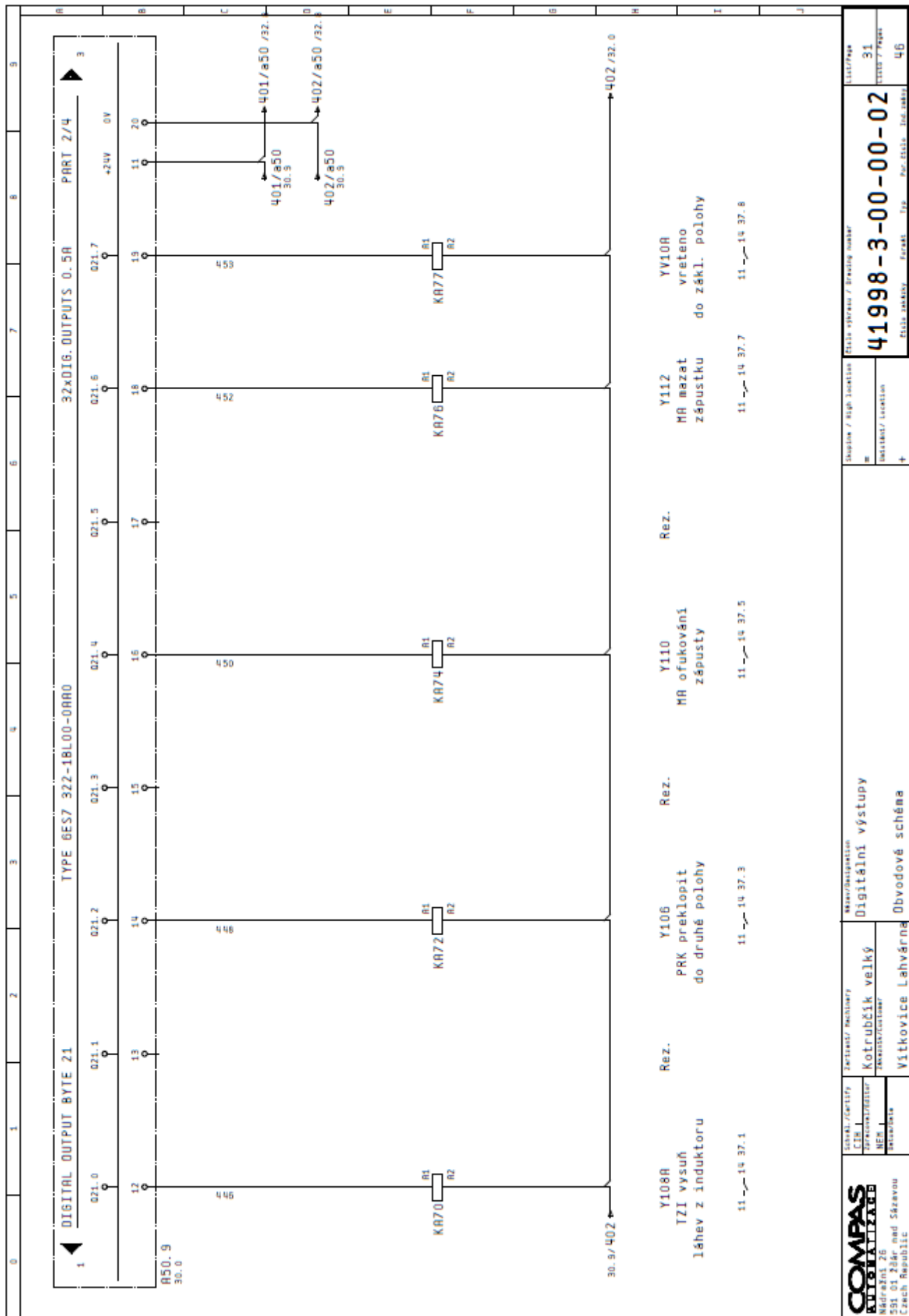


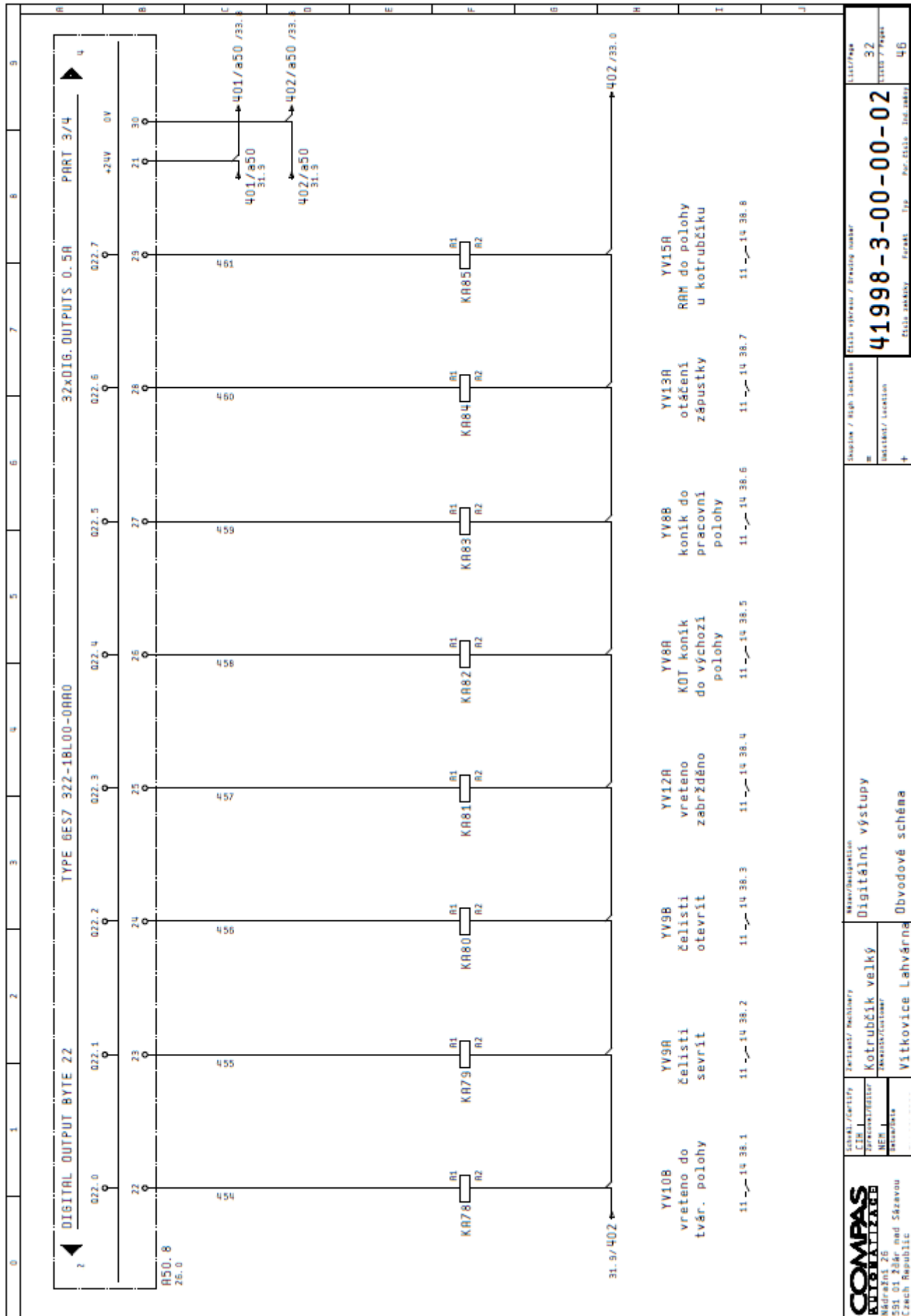


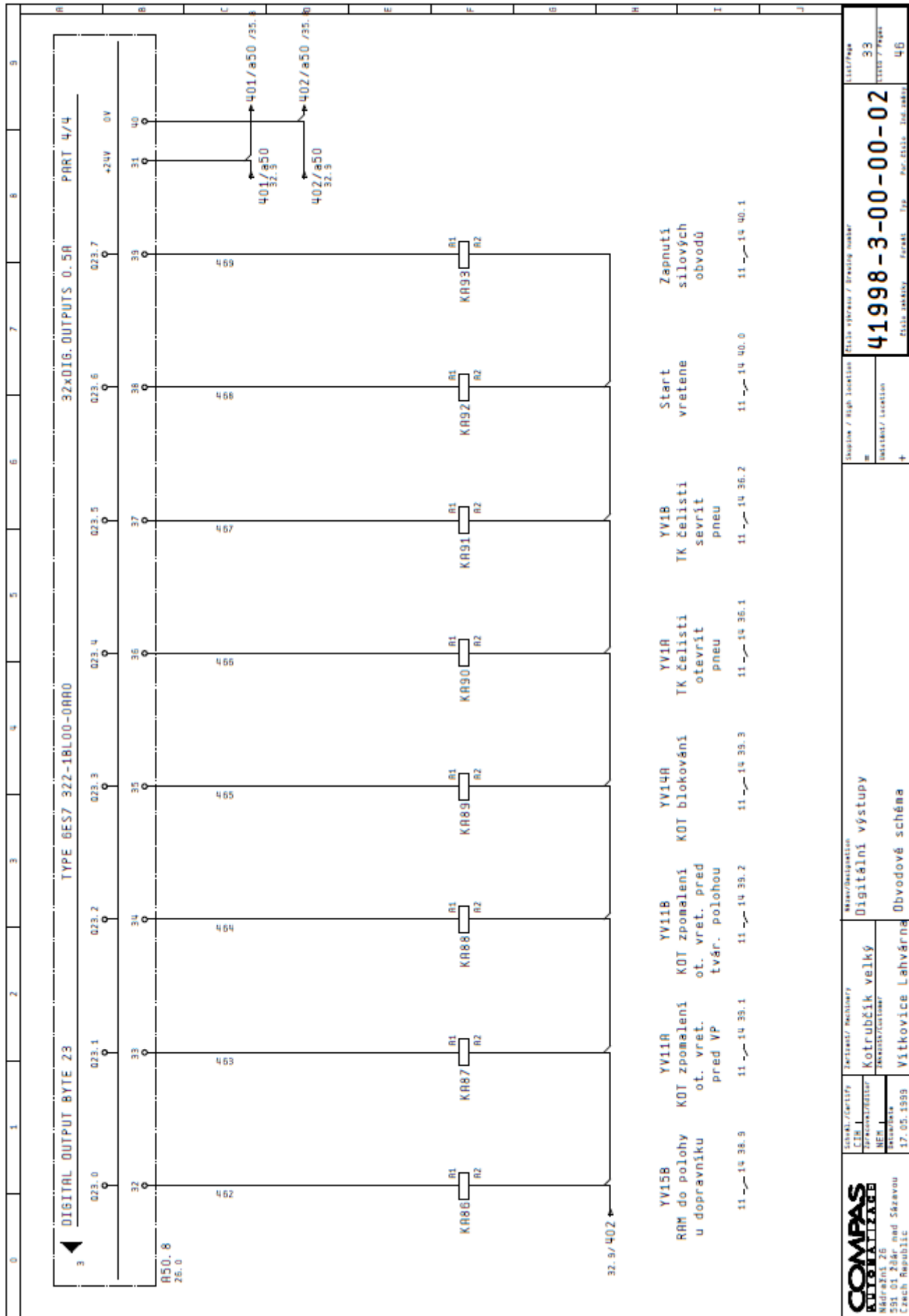






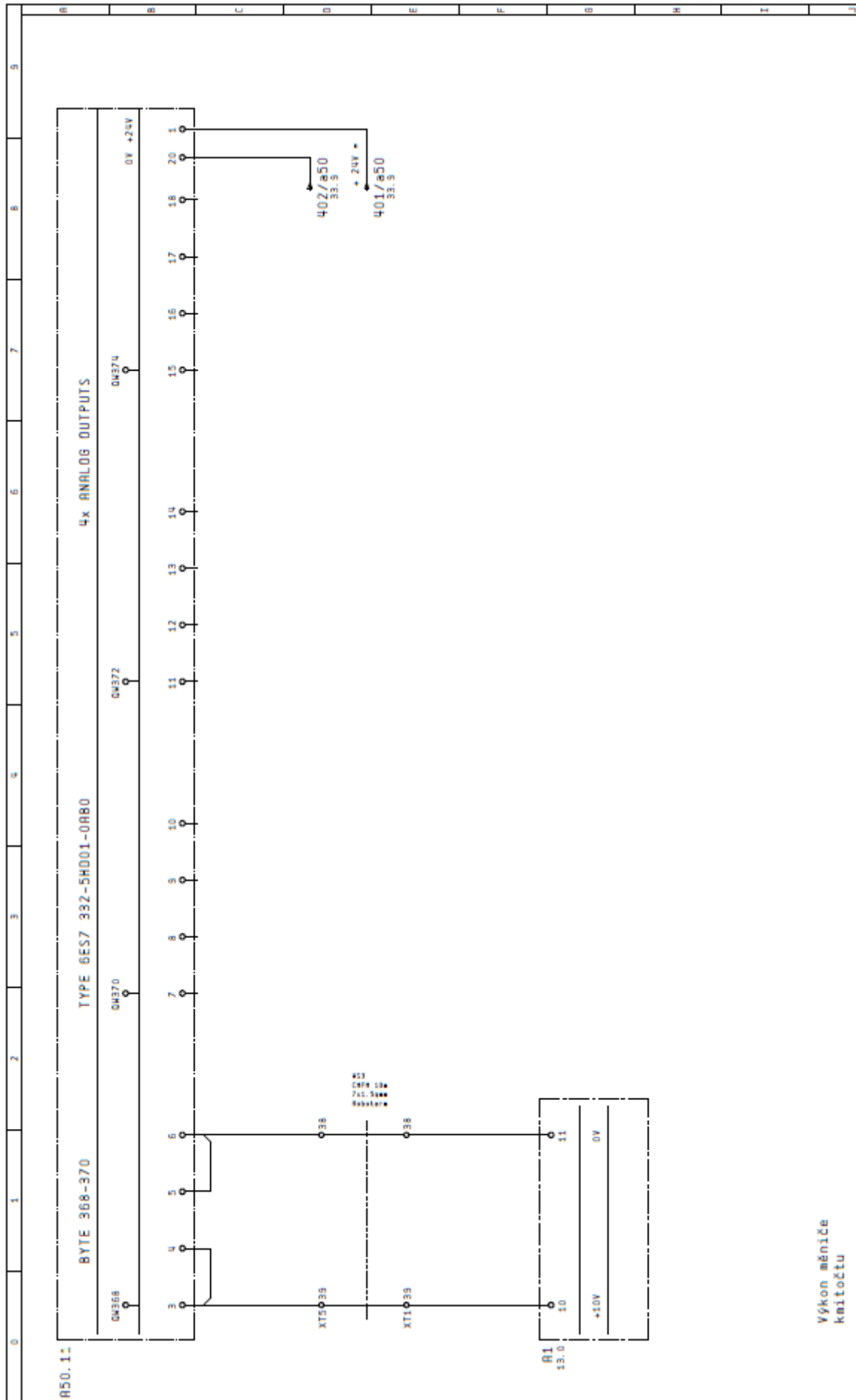








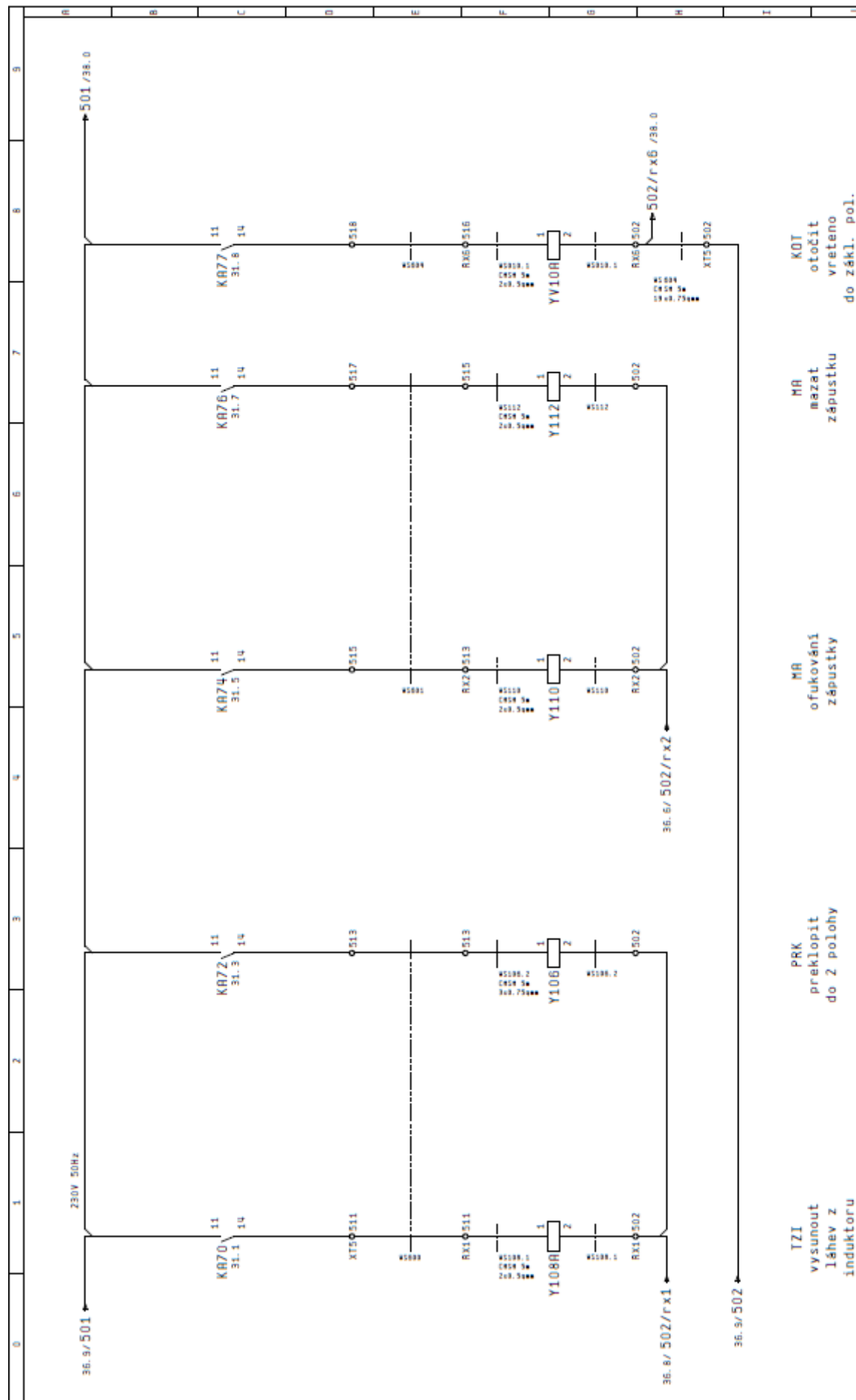




Výkon měniče  
kmitočtu

<b>COMPAS</b> KUTVÁŘSKÝ Nádraží 26 551 01 Žďár nad Sázavou Czech Republic	Level/Category CEM Zpracovatelství NEM Instalace	Location/Installation Kotrubičsk velký Zpracovatelství Instalace	Name/Designation Analog výstupy Obvodové schéma	Shop / High location m Indicated / location +	Title version / Drawing number <b>41998-3-00-00-02</b> Title version    Format    Top    For title    Ind. table	List/Page 35 List/7 Pages 46



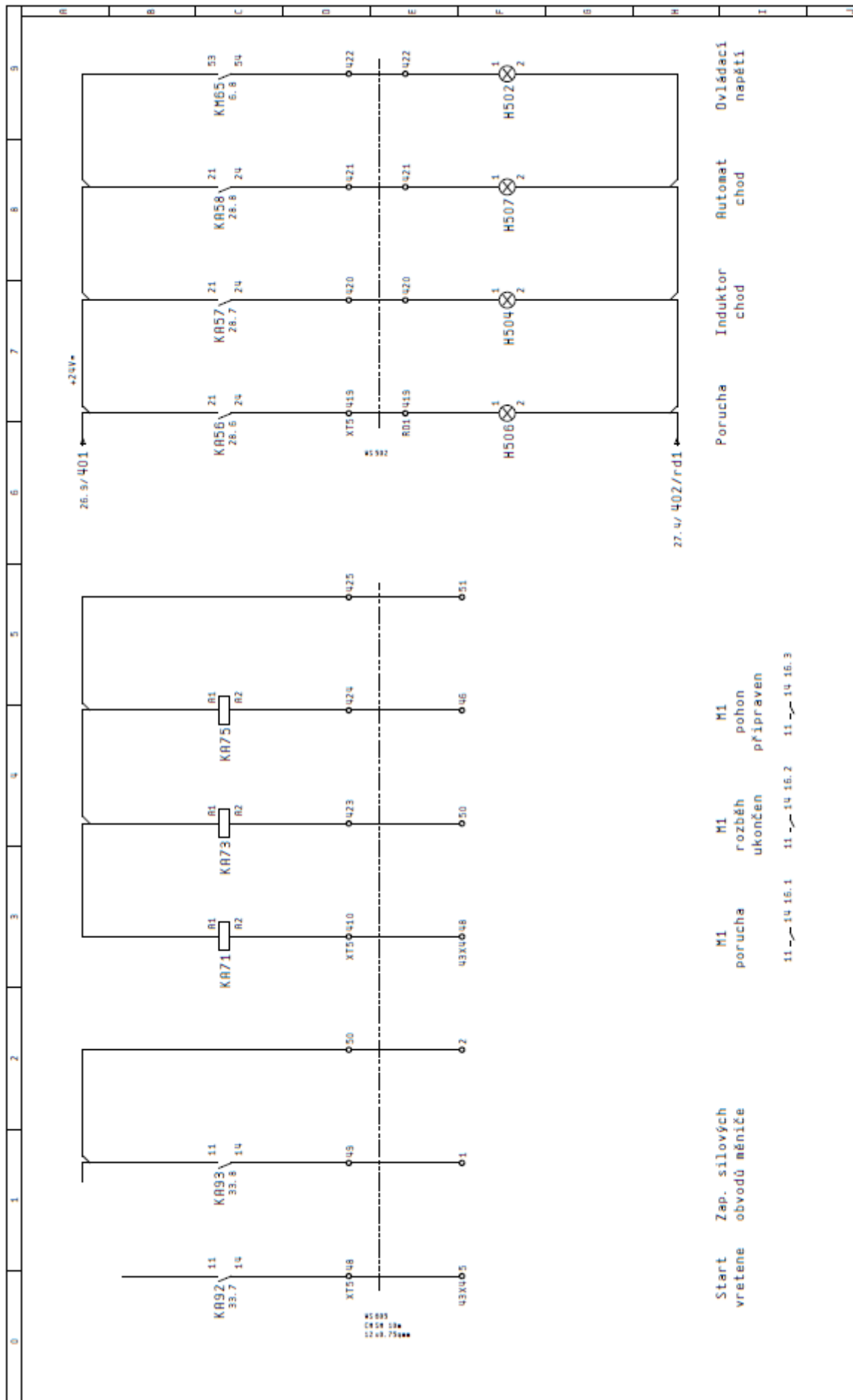


TZI      PRK      HA      HA      KOT  
 vysunout      překlopit      ofukování      mazat      otočit  
 láhev z      do 2 polohy      zápusky      zápusku      vřeten  
 induktoru      do 2 polohy      zápusky      zápusku      do zákl. pol.

<b>COMPAS</b> KONTROLNÍ NÁDRAŽNÍ 26 591 01 254r nad Sázevou Czech Republic	Serial / Certify CEN 00000000000000000000 00000000000000000000 00000000000000000000 00000000000000000000	Refractor / Machinery KOTRUBČÍK velký KOTRUBČÍK velký Vítkovice Lahvárná	Name/Designation Výstupy relé Obvodové schéma	Shopline / High location 37 46	Title/Page 37 46







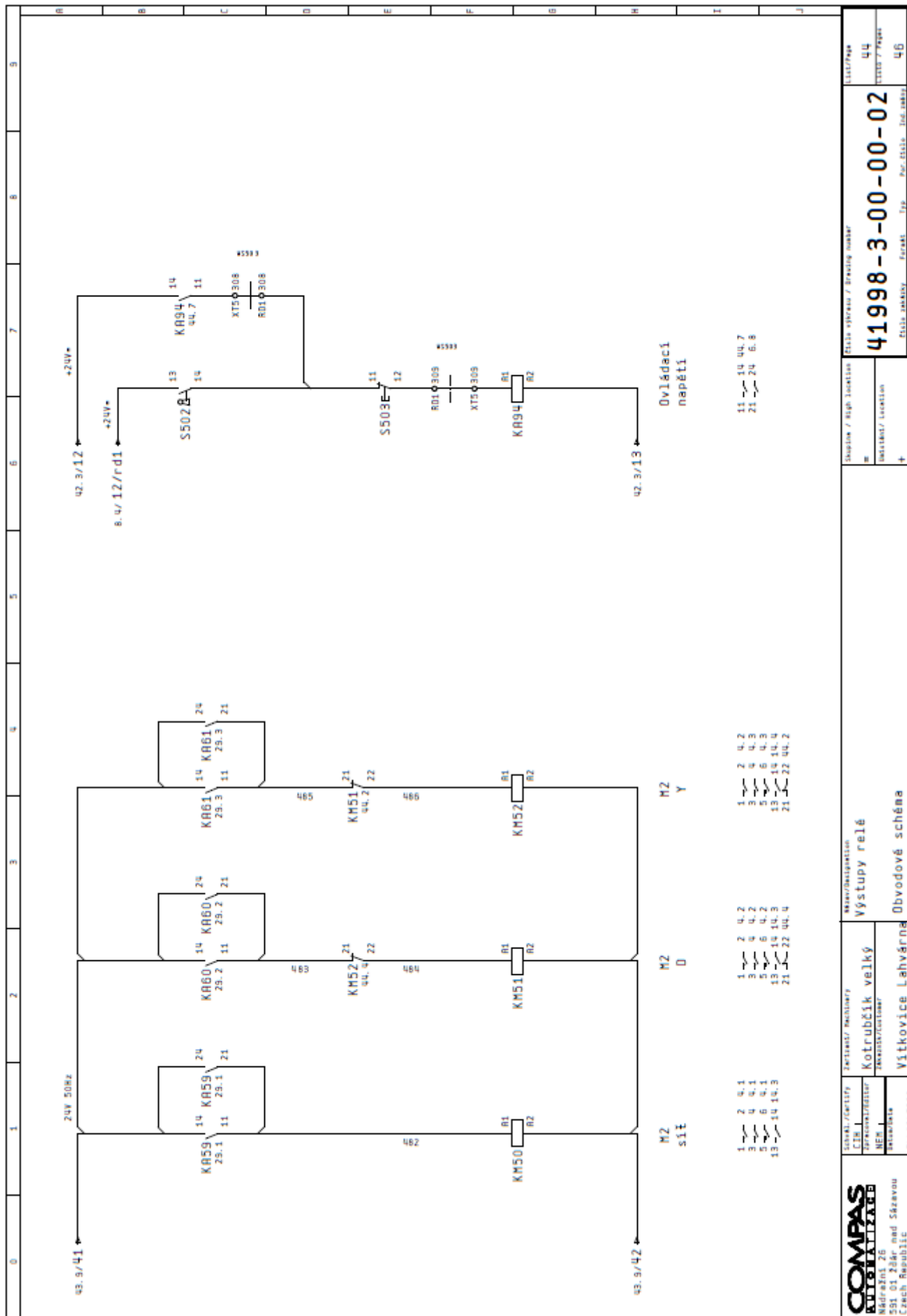
<div>COMPAS</div> <div>KUTVÁŘSKÝ</div> <div>Nádražní 26</div> <div>591 01 Žďár nad Sázavou</div> <div>Czech Republic</div>	Schval./Certify	Zatvrdil/ Authorize	Meno/Description	Stupeň / High Location		Stupeň / Low Location		Stupeň / Page	
				C 10		C 10		40	
	Zpracovatel/Editor	Kotrubčík velký	Výstupy relé	=		=		40	
				NEN		NEN		40	
	Seznam/Deta	Vítkovice Lahvárna	Obvodové schéma	+		+		46	



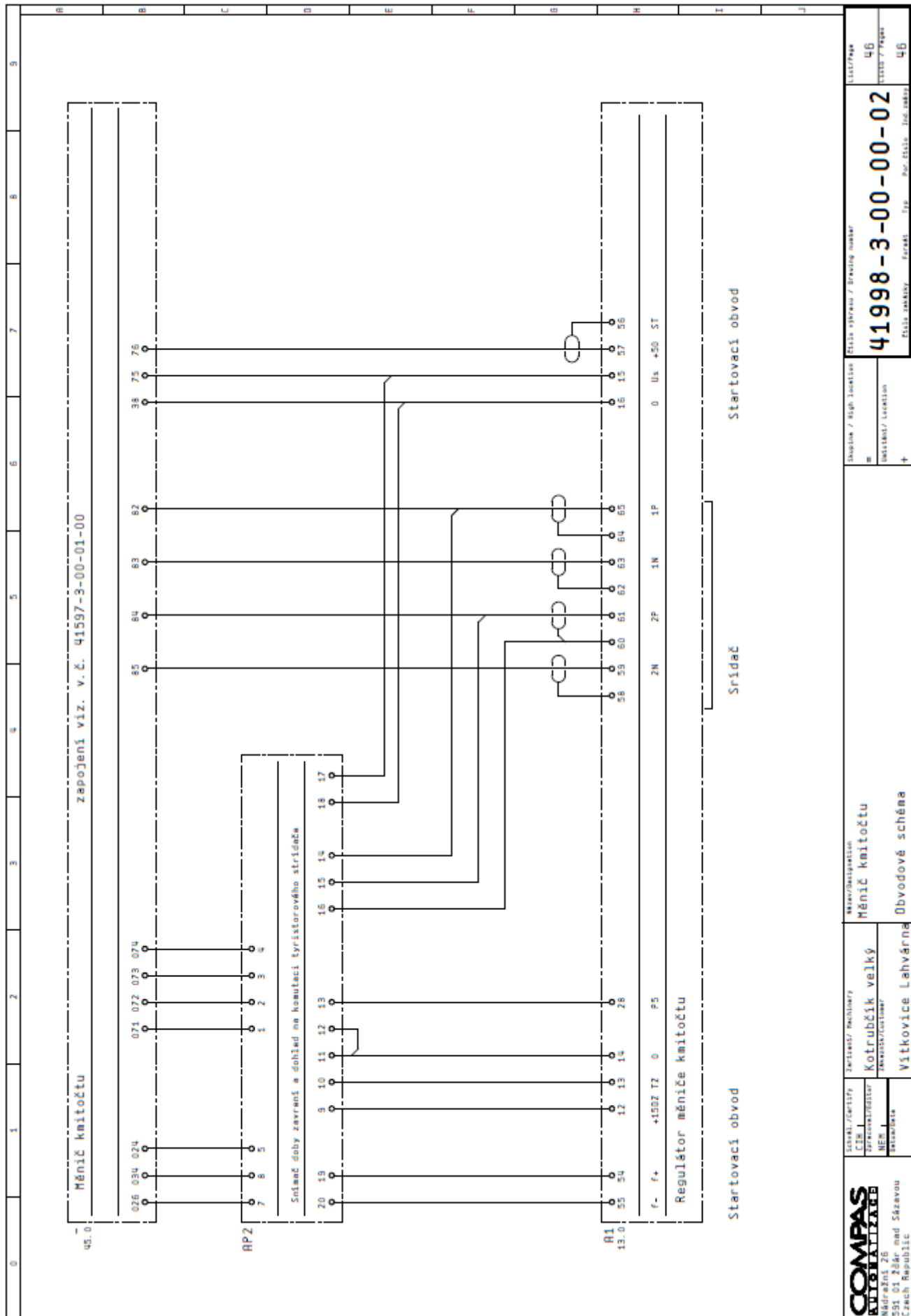












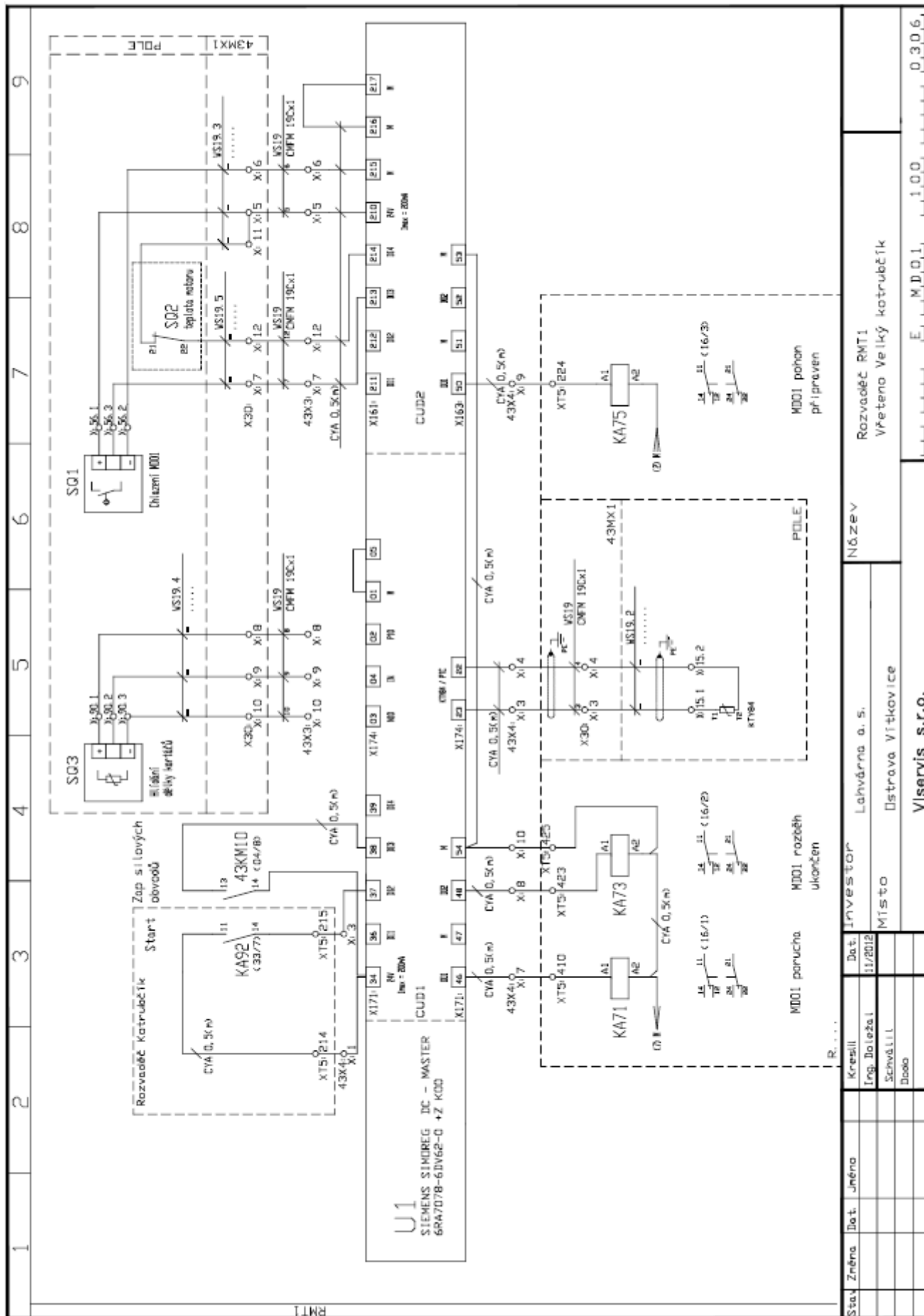




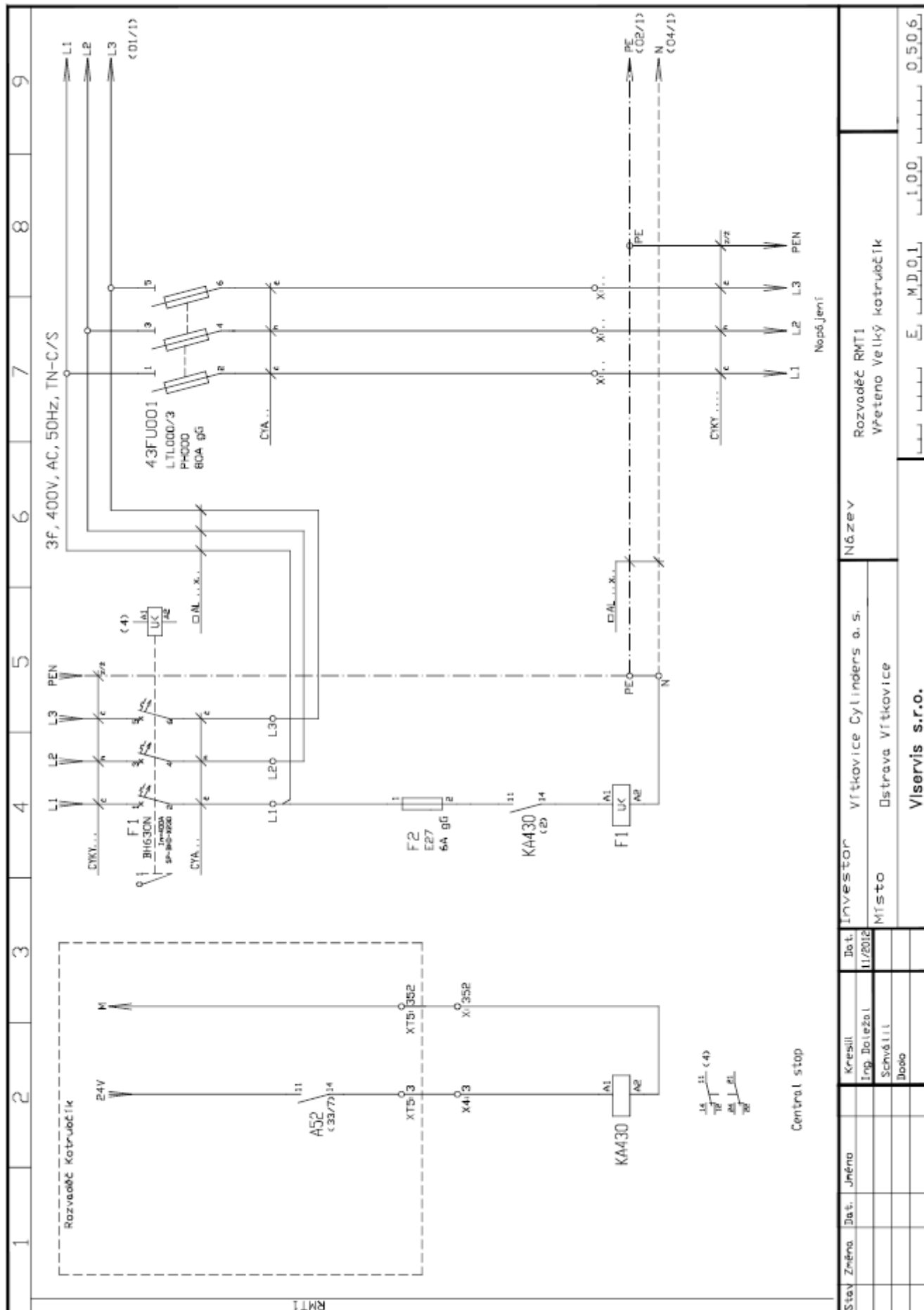














**Příloha C:**



**Příloha D:**

25.10.2006 15:00	Vítkovice Cylinders a.s. Lahvána 4. hala	Usine de Wecker	Nejde AUT Neukončený cyklus.	Marsina Adam, Studnička Martin
25.10.2006 15:30				
19.10.2006 10:00	Vítkovice Cylinders a.s. Lahvána 4. hala	Usine de Wecker	Otáčení-nevypíná, prohlídka zařízení, přepojení	Janečka Zdeněk, Němčanovský Petr
19.10.2006 11:00			přerušeno drá...	
17.10.2006 23:10	Vítkovice Cylinders a.s. Lahvána 4. hala	Usine de Wecker	Nejde - zaseklý mikrosopínač, oprava a	Kavka Stanislav, Köhler Josef
18.10.2006 00:00			vyčištění, odzkoušení.	
04.10.2006 03:00	Vítkovice Cylinders a.s. Lahvána 4. hala	Usine de Wecker	Výměna K.V. na vstupních kleštích.	Gaj Lukáš, Köhler Josef
04.10.2006 03:45				
26.09.2006 12:50	Vítkovice Cylinders a.s. Lahvána 4. hala	Usine de Wecker	Seřízení lišty narážek na koncáky	Bubík Jan, Mojžíšek Radek
26.09.2006 13:15				
18.09.2006 01:00	Vítkovice Cylinders a.s. Lahvána 4. hala	Usine de Wecker	Seřízení časového relé sevření čelistí.	Marsina Adam, Studnička Martin
18.09.2006 01:30				
13.09.2006 14:00	Vítkovice Cylinders a.s. Lahvána 4. hala	Usine de Wecker	Seřízení lišty narážek pro KV.	Bubík Jan, Gaj Lukáš
13.09.2006 15:00				
13.09.2006 07:00	Vítkovice Cylinders a.s. Lahvána 4. hala	Usine de Wecker	Prohlídka zařízení, kontrola K.V.	Studnička Martin
13.09.2006 07:30				
12.09.2006 20:00	Vítkovice Cylinders a.s. Lahvána 4. hala	Usine de Wecker	Seřízení K.V. viz předávací kniha.	Bubík Jan, Gaj Lukáš
12.09.2006 20:40				
11.09.2006 23:30	Vítkovice Cylinders a.s. Lahvána 4. hala	Usine de Wecker	Špatná předávka mezi ramenem a čelistmi, posunutí	Kratochvíl Michal, Skotnica Radomír
12.09.2006 00:30			času na čas...	
11.09.2006 07:00	Vítkovice Cylinders a.s. Lahvána 4. hala	Usine de Wecker	Nejde zakl. rameno - zkrat v kabeláži, výměna, spolupráce	Gaj Lukáš, Kavka Stanislav
11.09.2006 07:50			se zam...	

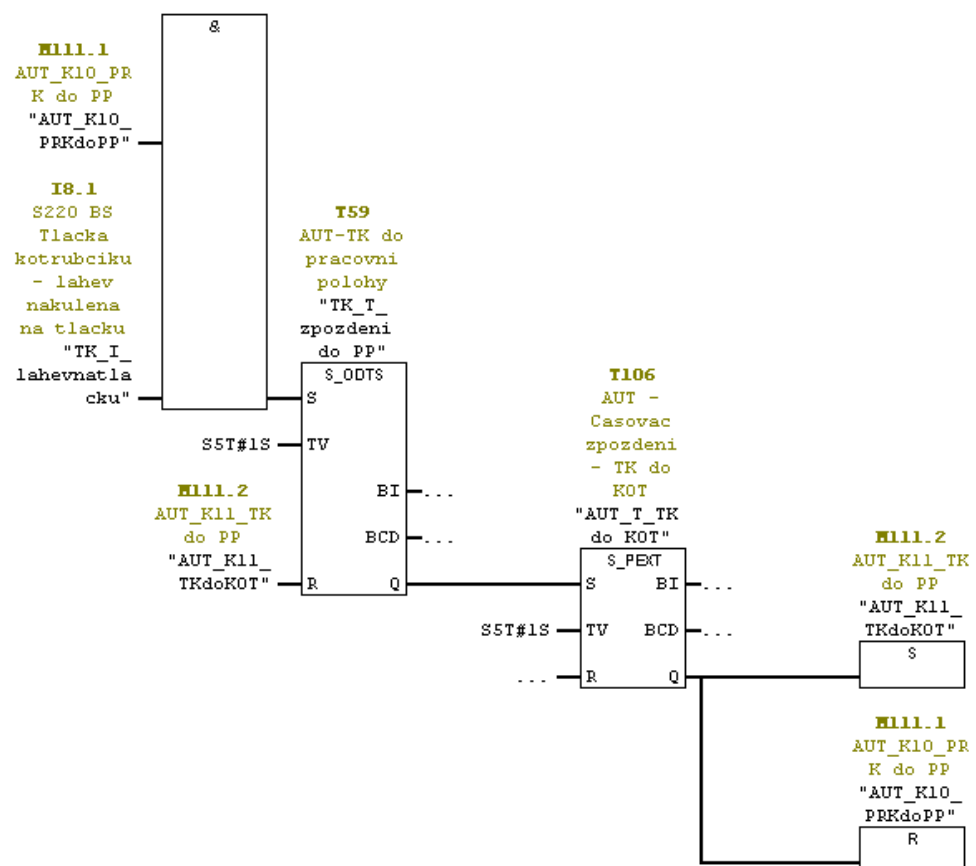
## Příloha E:



## Příloha F:

Network 20 : Automatický chod - K11 - TK do KOT

Comment:

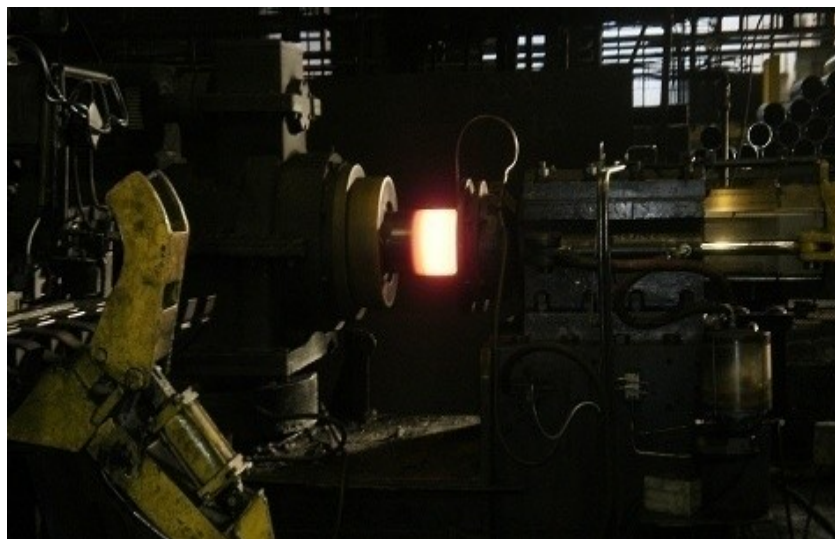




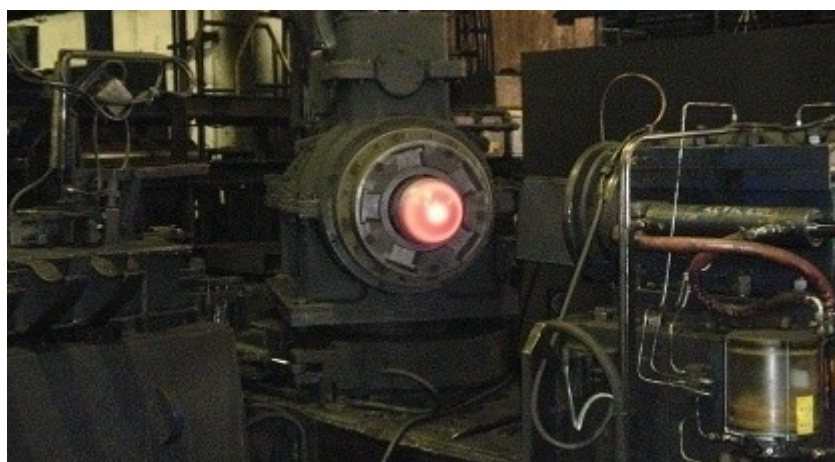
**Příloha G:**



Láhev je po nahřátí indukčním ohřevem tlačena tlačkou do vřetene tvářecího stroje.

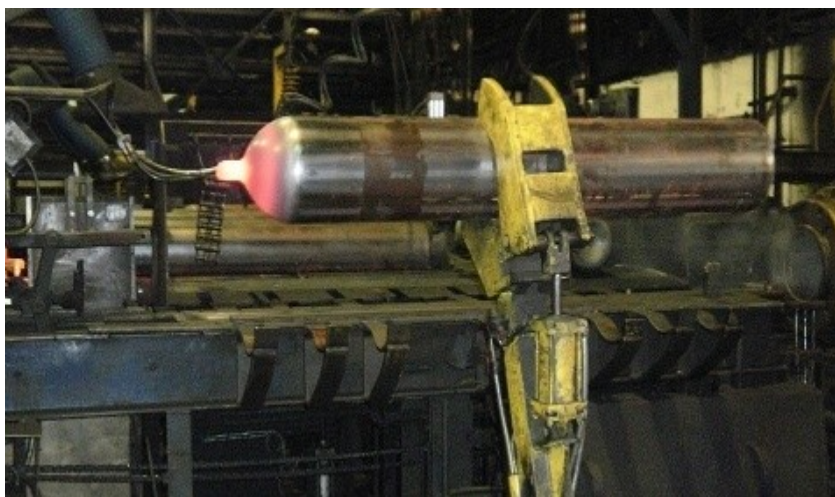


Vřeteno, ve kterém se upnutá láhev otáčí a posuv koníku při činnosti tváření láhve.



Láhev v konečné podobě po tváření směřuje zpět na tlačku, která ji odebere z vřetene.





Jakmile tlačka pustí láhev na místě určeném k odběru ramenem, poodjede do základní polohy. Na snímku vidíme poslední fázi chodu stroje. Překlápěcí rameno přemístí ocelovou láhev do prostoru mimo pracoviště tvářecího stroje.